기본연구보고서 20-24

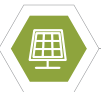
www.keei.re.kr

4차 산업혁명 시대 대응 중장기 에너지효율관리 발전방안 연구(3/3)



| 이성인 · 박지용 · 박상규 |






KOREA ENERGY ECONOMICS INSTITUTE





에너지경제연구원

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

저　　자　이성인, 박지용, 박상규

연 구 진

연구책임자	이성인	(에너지경제연구원 연구위원)
연구참여자	박지용	(에너지경제연구원 부연구위원)
	박상규	(에너지경제연구원 부연구위원)
	진귀영	(에너지경제연구원 전문원)

외부연구진

연구참여자	주성관	(고려대학교 교수)

기타기여자

설문조사	한국능률협회컨설팅

〈요 약〉

1. 연구의 필요성 및 목적

□ 연구의 필요성

○ **4차 산업혁명 기술의 확산과 고도화에 따른 디지털화로 에너지 효율은 보다 가치 있는 자원으로 변모하고 있음**

- 디지털화는 에너지 사용 데이터의 수집·분석에 적용되어 에너지효율의 잠재력을 키우고, 자동화 및 클라우드 기반 효율관리 등을 통하여 에너지효율 생태계와 관련 시장을 변화시킬 것임.
- 에너지 사용 데이터를 수집하고 분석하는 디지털 기기 및 기술을 이용하여 에너지효율을 향상시킬 수 있고, 사업장 또는 빌딩 단위의 에너지효율 최적화를 제공

○ **디지털 기술을 활용한 에너지효율 개선은 한국판 그린·디지털 뉴딜 등 관련 정책에 의하여 가속화될 전망이며, 디지털 에너지효율 정책 설계를 위한 기본방향 설정이 필요**

- 디지털 에너지효율의 이점을 살릴 수 있도록, 정부 정책은 혁신기술 수용에 대한 소비자의 시장 장애요인 제거, 데이터의 접근성과 프라이버시 사이의 균형 유지 등 다양한 문제를 해결하는 방향으로 설계되어야 함.
- ‘수요자 관점’에서의 시장참여 활성화를 위한 생태계 조성방안에 대한 정책적 지원 및 수요자 선호를 반영한 관련 서비스 시장 활성화 방안 마련이 필요

2. 연구내용 및 주요 분석 결과

□ 디지털화에 따른 에너지 수요관리 생태계의 변화

○ 디지털화는 에너지효율 개선과 편리성을 제공

- 디지털화의 진전으로 스마트 센서, 디지털 트윈, 사물인터넷(IOT), 인공지능, 시각화 등 다양한 기술을 모니터링 및 진단에 적용할 수 있고, 자동제어 기능 등을 활용하여 에너지 소비 최적화를 달성할 수 있음.

○ 디지털화에 따른 수요관리의 영향

- 수요반응의 편리성과 수요자원의 가용성을 확대하며, 분산에너지 자원과의 통합운영을 통하여 분산에너지 자원의 확대 및 수요관리에 기여

○ 디지털화와 에너지 시스템의 변화

- 디지털화는 에너지 부문 간 수요와 공급의 경계를 허물고 분산자원 및 부하관리를 통합하여 에너지 낭비를 줄이며, 시스템의 신뢰성과 유연성을 향상시킴.
- 디지털 기술과 분산에너지 자원에 대한 소비자의 선택 및 선호도 증가, 관련 기술의 혁신, 데이터 접근성 및 규제 개선 등 다양한 디지털 효율정책의 뒷받침을 통하여 이러한 변화는 더욱 가속화될 전망임.

□ 수요관리 활성화를 위한 디지털 생태계 조성방안

○ 디지털 기술을 활용한 에너지효율 개선과 관련된 시장 장애요인과 우선순위 식별

- 계층화 분석법(AHP)을 활용하여 분석한 결과, 국내 에너지 관리자는 디지털 기술을 활용한 에너지효율 투자에 있어 가장 큰 장애요인으로

투자비 회수의 장기화를 들었고, 그 다음으로 에너지효율 분야에 대한 투자 우선순위가 낮은 것을 듦.

- 그 외에 기초 인프라 부족, 높은 초기투자비용, 사내 전문가의 부족 등이 중요한 시장 장애요인인 것으로 나타남.

○ **EMS 기반 디지털 기술관련 소비자 선호**

- 에너지 관리자가 평가하는 에너지효율 향상을 위한 디지털 기술의 선호도를 이산선택실험(DCE)에 의해 분석한 결과, 연결방식에서는 기존 설비에 센서 부착, 관리방식에서는 위탁업체 활용, 제어방식에서는 자동제어를 선호하는 것으로 나타남.

□ 지능형 수요자원 통합관리 플랫폼의 필요성 및 구축방안

○ **'효율성개선', '신규성 발견', '평가 및 관련 정보제공' 측면에서 지능형 수요자원 통합관리 플랫폼의 구축이 필요**

- 기술 기반 플랫폼을 통해 기기, 설비, 시스템 단위의 통합 제어, 운영을 자동화하여, ESS(Energy Storage System), HVAC(Heating, Ventilating and Air Conditioning) 등 동적 자원을 활용한 운영 최적화와 비용절감, 관리의 편리성을 높일 수 있음.
- 서비스 소비자를 대상으로 한 B2B(산업용) 서비스, B2T(지자체) 서비스, 에너지 솔루션 등 다양한 형태의 새로운 비즈니스 모델로의 확장이 용이함.
- 플랫폼은 전통적인 에너지 소비자가 에너지 프로슈머로 전환되면서 필연적으로 등장하게 되는 새로운 시장으로 역할을 함.
- 플랫폼은 수요반응자원 등 분산자원과 함께 양방향 통신을 통해 소비자 간 정보 교환이 가능한 구조로, 이를 통해 연결성이 강화

되어 그리드의 유연성이 커지고 다른 플랫폼과의 연계를 통한 확장성이 강화됨.

- 개별기기 단위의 프로파일링과 소비 데이터, 더 나아가 시스템, 지역 단위의 에너지 수요 데이터를 이용하여 정책 검증과 성과 평가에 활용
- 플랫폼 운영을 통해 수집된 경제성 등에 대한 자료를 토대로 벤치마킹에 필요한 자료 제공이 가능
- 국가 에너지계획 수립 시 검증된 자료와 통계를 기초자료로 활용할 수 있음.

ㅇ 지능형 수요자원 통합관리 플랫폼의 기술 환경

- 개별 수요관리 서비스를 개발하고 플랫폼에서 제공하기 위해 ① IT 인프라(IoT, 통신 기술), ② 데이터 기술(빅데이터, 클라우드), ③ 실행 기술(AR/VR, 로보틱스, 디지털 트윈), ④ 분석 기술(인공지능)이 필요
- 기술 환경을 구축하고 기술 활용을 위해서는 H/W, S/W 단계에서의 제반 요건을 갖추는 것이 필요
- 수요관리 서비스의 질적 향상을 위해서는 에너지원별(전기, 가스 등 네트워크 에너지) 스마트 미터링 및 기기 활용 기반의 IoT 마이크로 미터링 데이터 수집, 에너지 사용주체의 행동 데이터, 경제, 기상 등의 외생 데이터의 유기적 활용이 필요

ㅇ 지능형 수요자원 통합관리 플랫폼 구성 요소

- 플랫폼은 에너지 소비자, 서비스 공급자 등 주요 이해관계자, 에너지효율, 부하관리, 분산자원 관리 등의 에너지 서비스, 이를 기반으로 에너지 수요자원의 통합관리 서비스로 이루어짐.

○ 한국판 뉴딜을 통한 지능형 수요자원 통합관리 플랫폼 발전방안

- 지능형 수요자원 통합관리 플랫폼은 D·N·A(Data, Network, AI) 기반기술을 바탕으로 에너지 절약과 환경 개선, 신재생에너지 확산 등의 기반이 되는 “그린 에너지댐” 등 친환경 에너지 인프라 구축을 가속화할 전망
- 에너지 수요자원 관련 신시장 창출과 민간의 투자를 촉진하는 디지털/그린 융복합 뉴딜의 촉매제 역할을 할 것으로 예상
- 기술 기반 플랫폼으로 전환하기 위해서는 기술적인 환경, H/W, S/W의 제반 요건을 갖추고 제도적인 지원이 뒷받침이 필요

3. 결론

○ 수요관리의 디지털 전환은 국내 에너지 수요관리 혁신을 위한 새로운 기회이자 도전

- 한국판 뉴딜 종합계획으로 데이터 경제 활성화를 통해 新산업 육성 및 주력산업의 디지털 전환을 가속화할 수 있음.
- 데이터 경제 및 디지털 시대를 맞이하여 국내 에너지수요관리 시스템도 새로운 전환의 문턱에 서 있음.

○ 에너지수요관리와 효율 혁신이 이루어질 수 있도록 에너지수요 측면의 데이터 구축과 생태계 조성이 시급한 핵심과제가 되고 있음

- 풍부한 양질의 에너지수요 데이터가 건물·산업 전반에서 생산·활용되어 에너지수요관리와 효율 혁신을 이룰 수 있음.

○ 에너지수요 부문의 디지털 혁신

- 수요에 대한 신뢰성 있는 계측 데이터 구축(수집·표준화·분석)이

우선적으로 추진되어야 함

- 데이터 기반 지능형 수요관리 생태계 조성을 위해서는 데이터 거래·공유 및 수요관리 서비스 제공을 지원하는 클라우드 기반 플랫폼 구축이 필요
- 디지털 시스템은 사이버 공격에 취약하고 개인정보가 데이터에 포함되어 있으므로 보안 및 개인정보 보호방안 마련이 필요
- 빅데이터 기반의 에너지관리는 새로운 분야로서 전문가가 부족하므로, 에너지 전문가, 데이터 과학자, IT 전문가, 엔지니어링 전문가 및 에너지관리 전문가의 협업이 필수적이며. 관련 분야의 인력 양성이 필요함.

○ **수요관리 분야야말로 디지털 뉴딜과 그린 뉴딜을 모두 포괄하는 분야로. '한국판 수요관리 뉴딜 정책'이 전략적으로 과감하게 추진되어야 함.**

제목 차례

제1장 서 론 ······ 1

제2장 디지털화와 에너지 수요관리 생태계의 변화 ······ 5

1. 디지털 기술과 에너지효율 ······ 6
2. 디지털화와 수요관리 ······ 8
2.1. 수요반응 ······ 8
2.2. 분산에너지자원의 활용 ······ 10
2.3. 유틸리티의 비용절감 효과 ······ 13
3. 디지털화와 에너지 시스템의 변화 ······ 13
3.1. 디지털 전환을 통한 에너지 시스템의 진화 과정 ······ 15
3.2. 디지털 전환을 통한 에너지 시스템의 진화 방향 ······ 16
4. 디지털화와 에너지 부문별 영향 및 동향 ······ 22
4.1. 건물부문 ······ 22
4.2. 산업부문 ······ 26

제3장 수요관리 활성화를 위한 디지털 생태계 조성 ······ 29

1. 설문조사 개요 ······ 29
2. 디지털 기술을 활용한 에너지효율개선의 장애요인 ······ 30
2.1. 장애요인 식별 및 우선순위 파악을 위한 방법론 ······ 32

2.2. 장애요인의 우선순위 도출 결과 ··· 34
3. 에너지효율 개선을 위한 EMS 기반 디지털 기술 관련 소비자 선호 ·· 38
3.1. 전문가 선호 분석 방법론 ··· 39
3.2. 에너지 관리자 선호 분석 결과 ··· 47
4. 소결 ··· 52
4.1. 장애요인과 극복방안 ··· 52
4.1.1. 경제적 장애요인 해결방안 ··· 52
4.1.2. 정보, 기술, 기업 내부적 장애요인 해결방안 ··· 53
4.2. 디지털 기술혁신으로 인한 디지털 기술 활용 선호도 ··· 55

제4장 디지털 기반 통합 수요관리 플랫폼 구축방안 ··· 57
1. 지능형 수요자원 통합관리 플랫폼의 필요성 ··· 60
2. 지능형 수요자원 통합관리 플랫폼의 기술 환경 ··· 64
2.1. IT 인프라 ··· 65
2.2. 데이터 기술 ··· 68
2.2.1. 엣지 컴퓨팅(Edge Computing) 기반 빅데이터 처리 ··· 68
2.2.2. 클라우드 컴퓨팅(Cloud Computing) 기반 확장성 및 보안성 증대 ··· 71
2.3. 실행기술 ··· 74
2.4. 분석기술 ··· 76
3. 지능형 수요자원 통합관리 플랫폼 구성요소 ··· 78
3.1. 주요 이해관계자 ··· 78

3.2. 에너지 서비스 ········ 80
3.3. 부하관리 ········ 82
3.4. 분산에너지 관리 ········ 85
3.5. 지능형 수요자원 통합관리 ········ 87
4. 한국판 뉴딜을 통한 지능형 수요자원 통합관리 플랫폼 발전방안 · 92
4.1. 스마트시티 사업과 연계한 발전방안 ········ 93
4.2. 플랫폼 기반 스마트 산업단지의 에너지 효율화 운영 ········ 96

제5장 요약 및 결론 ········ 101
1. 에너지수요 빅데이터 구축·활용 ········ 104
2. 데이터 공유·활용을 위한 기반 구축 ········ 107
3. 지능형 에너지 수요자원 통합관리 플랫폼 구축·운영 ········ 109
4. 정책의 내실화와 실효성을 위한 중추적 역할 수행 ········ 111

참고문헌 ········ 113

부록 ········ 119

표 차례

<표 3-1> 전문가 재직기관 분류와 표본 수 ···································· 30
<표 3-2> 디지털 기술을 활용한 에너지효율 투자 관련 장애요인 ·· 31
<표 3-3> 장애요인별 중요도 분석결과 ·· 35
<표 3-4> 디지털 기술을 활용한 에너지효율 투자에 대한
장애요인의 우선순위 ·· 37
<표 3-5> 이산선택실험 상황 가정 ·· 40
<표 3-6> 4차 산업혁명 기술을 활용한 에너지효율 투자 활성화
관련 속성수준 ·· 43
<표 3-7> 에너지효율 투자 선호 컨조인트 카드 예 ························ 44
<표 3-8> 4차 산업혁명 에너지 수요관리 기술 전문가 선호분석 결과 ··· 49
<표 3-9> 수요관리 서비스별 상대적 중요도 ································· 51
<표 3-10> 속성별 지불의사액 ·· 51
<표 3-11> 규모별 EMS 구축비용과 예상 투자비 회수 기간 ·········· 53

<표 4-1> 지능형 수요자원 통합관리 플랫폼 계층과 구성요소 ········ 59
<표 4-2> 스마트 공장의 기능 ·· 97
<표 4-3> 스마트 공장의 장점 ·· 98

그림 차례

[그림 2-1] 디지털 공급체인과 주기 ······ 5
[그림 2-2] 디지털 기술의 결합으로 인한 에너지효율향상 ······ 7
[그림 2-3] 중앙 집중형과 분산형 네트워크 비교 ······ 11
[그림 2-4] 블록체인 활용을 통해 얻을 수 있는 이익 ······ 12
[그림 2-5] 디지털화를 통한 전력시스템의 재편 ······ 14
[그림 2-6] 디지털 기술의 발전과 에너지수요자원의 역할 ······ 15
[그림 2-7] 디지털 전환을 통한 진화과정 ······ 16
[그림 2-8] 일별 부하 곡선에 나타나는 수요자원의 영향 ······ 17
[그림 2-9] 2040년 유럽지역 재생에너지 출력제약량과 제약량 감축량 · 19
[그림 2-10] 기존 EV 충전 방식과 스마트 충전 방식 비교 ······ 20
[그림 2-11] 주요 전력자원의 단위가격 추이 ······ 21
[그림 2-12] 스마트 빌딩과 관련된 에너지효율 기술 ······ 23
[그림 2-13] 스마트 빌딩의 영역 ······ 24
[그림 2-14] Digital Twin을 활용한 디지털적 구현 ······ 27

[그림 3-1] 국내 에너지관리 업무 종사 인원 ······ 54

[그림 4-1] 4차 산업혁명 기술 기반 新전력계통 및 수요관리서비스 · 58
[그림 4-2] 기존 그리드 기술 기반 수요관리 플랫폼으로의 전환 ······ 63
[그림 4-3] 개별 수요관리 서비스별 요구 기술 환경 ······ 64
[그림 4-4] 4차 산업혁명과 기술의 발전 ······ 65
[그림 4-5] 그린버튼 데이터 샘플 ······ 67

[그림 4-6] 엣지 컴퓨팅 개요 ··· 70
[그림 4-7] 엣지 컴퓨팅을 활용한 엘리베이터 접속성 개선 ··· 71
[그림 4-8] 클라우드 도입을 통한 비즈니스 개선 ··· 72
[그림 4-9] 클라우드를 활용한 Security Framework ··· 73
[그림 4-10] 디지털 트윈 개념 모식도 ··· 76
[그림 4-11] 딥 러닝의 두 가지 순서 ··· 77
[그림 4-12] 플랫폼의 주요 이해관계자들 ··· 80
[그림 4-13] 플랫폼을 통한 제품 및 서비스의 가치 차별화 ··· 82
[그림 4-14] IDR 모식도 ··· 84
[그림 4-15] 수요반응의 발전 추이 ··· 88
[그림 4-16] Con Edison사 수요자원 통합관리 포트폴리오 (2018년 하계) · 89
[그림 4-17] 지능형 에너지 수요자원 통합관리 플랫폼 구축(안) ··· 91
[그림 4-18] 한국판 뉴딜 10대 대표과제 ··· 92
[그림 4-19] 스마트시티 개념도 ··· 94
[그림 4-20] 스마트시티 생태계의 구성 요소 ··· 95
[그림 4-21] 개별 스마트 공장의 연결을 통한 확장 개념도 ··· 99
[그림 4-22] 반월시화 스마트 산단 구성도 ··· 100

[그림 5-1] 에너지 수요자 중심의 미래 에너지 시스템 변화 ··· 103

제1장 서 론

세계 각국은 기후변화 대응 및 지속가능한 에너지 공급을 위해 에너지전환을 적극 추진하고 있고, 정보통신기술이 융합하여 새로운 기술을 창출하는 4차 산업혁명 시대를 맞고 있다. 통신시스템, 사물 인터넷(IoT), 빅데이터, 인공지능(AI), 컴퓨팅 및 분석기능, 지능형 로봇 등 다양한 디지털 기술이 빠르게 발전하고 있어 이들이 4차 산업혁명을 견인할 것으로 예상된다. 디지털화의 주요 목표는 효율성과 편리성을 높이는 것이다. 기후변화에 대응하기 위한 정책과 소비자 요구가 변화되는 가운데 디지털 기술혁신도 빠르게 진행됨에 따라, 에너지시스템도 이러한 흐름에 맞추어 변화가 필요한 시점이다. 이에 따라 에너지 산업은 탈탄소화(Decarbonization), 디지털화(Digitalization), 분산화(Decentralization)라는 메가트렌드와 마주하고 있다.

디지털 기술과 디지털화는 저탄소 에너지시스템(탈탄소화 및 분산화 측면)으로의 전환에 핵심 동력이 될 것이다. 사물 인터넷(IoT), 데이터 분석(컴퓨팅 분석), 인공지능(AI), 블록체인 및 디지털 플랫폼과 같은 디지털 기술을 에너지 시스템 분야에 적용하는 것은 탈탄소화를 달성하는 데 필수적인 요소가 되고 있다. 디지털 기술의 효과는 분명하며, 에너지산업의 디지털화는 디지털 기술의 혁신뿐만 아니라 문화나 운영·비즈니스 모델의 변화까지 요구하고 있다. 디지털화 기술은 전력 시스템, 산업생산, 운송, 건물, 석유 및 가스 산업 등 에너지산업 전반에서 이미 활용되기 시작했다. 디지털화에

따라 소비자의 니즈(needs)도 다양해지고 소비자의 힘도 강화되고 있다. 이러한 가운데 태양광, 전기차, ESS 등 분산형 전원이 확대되고 있어 수요자원의 통합관리 필요성이 커지고 있다.

이러한 흐름에 맞추어 에너지수요 시스템도 고품질 데이터 확충, 연결성 및 자동화 확대 등과 같이 지능화, 통합화 및 효율화하는 방향으로 발전시켜야 한다. IoT는 센서와 통신 기술을 사용하여 실시간으로 데이터를 감지하고 전송함으로써 빠른 계산과 최적의 의사 결정을 가능하게 한다. 또한 에너지 부문이 중앙 집중형에서 분산형 스마트 통합 에너지시스템으로 전환하는 것을 가능하게 한다. 이러한 전환은 태양광, 풍력 등과 같은 지역 분산형 신재생에너지 보급 확대에 있어 핵심적인 요소이다. 최근 에너지를 소비자에게 일방적(one-way)으로 공급하던 전통적인 중앙집중형 모델은 점차 쇠퇴하고 있다. 에너지 시장은 신재생에너지 보급 확대 등에 따라 에너지를 자체 생산·소비하거나 잉여 에너지를 직접 구매하고 판매하는 에너지 프로슈머의 증가 및 디지털 기술의 확산으로 인해 EaaS(Energy-as-a-Service) 시장으로의 전환이 예상된다.

4차 산업혁명 시대의 플랫폼은 ICT와 같은 최첨단 기술을 활용하여 에너지 분야로 확장되고 있으며, 에너지 플랫폼은 생산자와 소비자를 연결하고 에너지시스템의 변화와 새로운 가치를 창출할 수 있는 중심에 설 전망이다. 미래의 에너지는 필연적으로 IoT 기술과 연결될 것이며 앞으로 수많은 장치, 공장, 건물, 스마트 시티, 조명 시스템, 지역사회 및 교통 시스템은 인터넷을 통해 연결되고 제어될 것이다.

본 연구는 제4차 산업혁명 시대의 도래에 맞추어 다양한 디지털

기술을 활용하여 데이터 기반을 선도적으로 구축하고 에너지수요관리 발전전략을 모색하고자 총 3년에 걸쳐 수행되었다. 1차 연도에는 디지털 기술의 발전에 맞추어 기존 에너지효율관리제도 및 정책효과 분석·평가 시스템 발전에 초점을 맞추어 연구하였으며, 이를 토대로 수요관리 제도와 평가시스템의 발전을 위한 정책방안을 제시하였다. 2차 연도 연구는 기술기반 수요관리산업의 생태계 강화와 시장 환경 조성을 주요 내용으로 '공급자 관점'에서 연구를 수행하였다. 이를 위해 기업들을 대상으로 설문조사를 실시하여 에너지수요관리산업에서의 4차 산업혁명 기술 도입과 활용 현황을 파악하였다. 또한 기업혁신지수(Company Innovation Index, CII)와 계층화분석과정(Analytic Hierarchy Process, AHP) 기법을 활용하여 수요관리산업의 경쟁력 제고 방안과 발전과제를 도출하고, BEMS (Building Energy Management System) 보급정책의 효과를 분석하였다. 이 같은 분석결과를 종합하여 기술기반 수요관리산업의 발전을 위한 정책을 제언하였다.

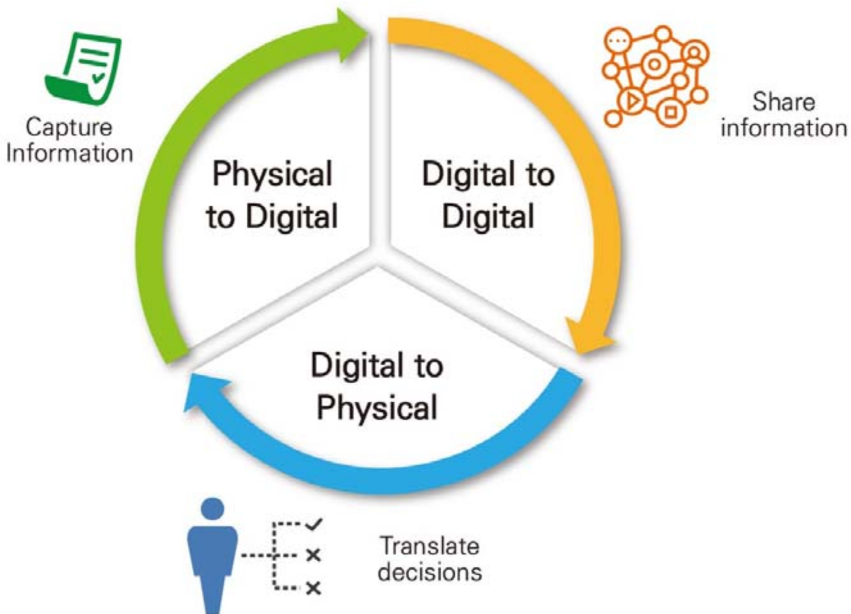
본 보고서는 3차 연도 연구로 데이터 기반 에너지관리, 에너지효율화 및 부하관리 서비스의 확대를 위해 '수요자 관점'에서 수요관리 발전방안을 모색하고자 하였다. 디지털 기술혁신이 빠르게 이루어지고 있는 4차 산업혁명 시대에 맞추어 디지털 기술을 활용한 데이터 기반 지능형 에너지수요관리 시스템으로의 전환을 위한 생태계 조성과 시장 활성화를 위한 추진전략을 마련하는데 초점을 맞추어 연구하였다. 이를 위해 제2장에서는 디지털화로 인한 에너지수요관리의 변화와 부문별 영향 및 동향에 대해 소개한다. 제3장에서는 설문조사를 바탕으로 계층화 분석방법을 활용하여, 디지털 기술

을 활용한 에너지효율 개선의 장애요인을 분석하고 우선순위를 정했다. 또한, 이산선택실험법을 활용하여 EMS(Energy Management System)를 기반으로 한 미래의 에너지효율 관련 디지털 기술과 구축비용 등 소비자 선호를 분석하였다. 제4장에서는 4차 산업 기술의 발달, 분산형 전원의 확산, 정책의 변화에 대응하기 위한 디지털 기반 지능형 수요자원 통합관리를 위한 플랫폼 구축방안을 제시하였고, 제5장에서는 결론 및 제언을 통하여 플랫폼의 시행을 위한 구체적인 방안을 제시하였다.

제2장 디지털화와 에너지 수요관리 생태계의 변화

디지털화는 에너지 시스템을 포함한 경제 전반에 걸쳐 정보통신기술 (ICT)을 적용하는 과정을 의미한다.[1)] 그 결과 디지털 세계는 [그림 2-1]과 같이 물리적 세계와 상호 작용하여 융합을 일으킨다.

[그림 2-1] 디지털 공급체인과 주기



자료 : Marmolejo-Saucedo and Hartmann(2020), “Trends in digitization of the supply chain: A brief literature review”, p.6.

1) IEA(2019), p. 74.

에너지부문에서의 디지털화는 에너지 사용 데이터를 수집하고 분석하는 기술을 적용하여 에너지효율을 향상시키며, 에너지 소비자에게 에너지효율 개선과 관련된 정보 제공, 자동화 및 클라우드 기반 에너지관리를 통해 편의성을 증가시켜 기존의 에너지효율 생태계를 변화시킨다.

1. 디지털 기술과 에너지효율

디지털화는 데이터를 수집하고 분석하는 디지털 기술을 통해 에너지효율을 높일 수 있는 잠재력을 키워준다. 데이터 수집과 분석에서의 모든 프로세스는 유무선 디지털 통신 네트워크에 의하여 뒷받침된다. 이러한 디지털의 연결성은 물리적인 현실세계와 가상의 디지털 세계에서 더 큰 용량의 데이터와 분석결과를 주고받을 수 있도록 하고 융합을 증가시킨다.

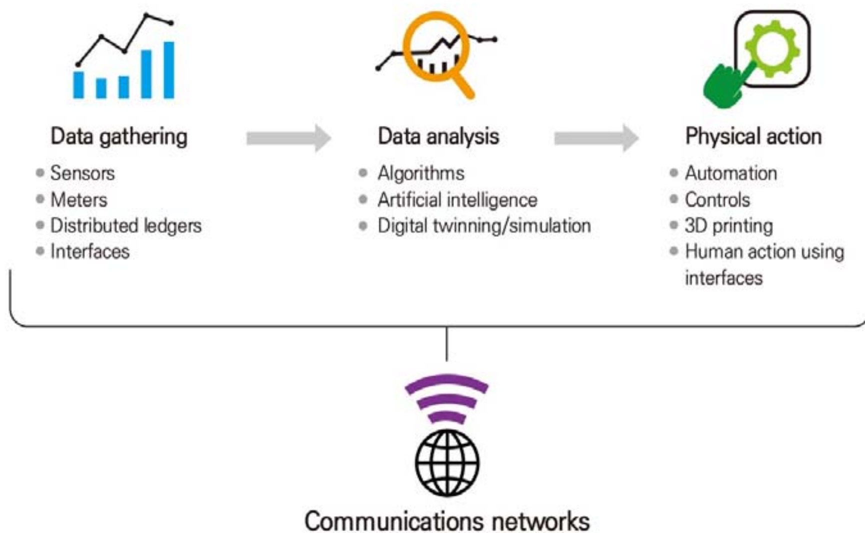
디지털 세계의 세 가지 기본요소는 데이터, 분석, 연결이다. 데이터 저장비용 감소와 이에 따른 데이터 용량 증가, AI, 기계학습 등 컴퓨팅 분석 기능의 발달, 빠르고 저렴한 데이터 전송과 연결성 강화를 통하여 디지털화는 가속화 되고 발전한다.[2] 디지털화는 운송, 건물, 산업 부문의 에너지 효율성 및 생산성 향상의 강력한 수단이 될 것이다.[3]

[그림 2-1]에서 보듯이 디지털화는 데이터 수집, 데이터 분석, 물리적 조치로 구성된다. 에너지 분야에서 센서링 등을 통하여 광범위한 에너지 소비 데이터를 수집하고, 인공지능 및 기계학습 등을

2) IEA(2017), p. 25.
3) IEA(2019), p. 86~88.

사용하여 데이터를 분석한다. 이를 통하여 사용자의 에너지효율 개선을 위한 기회 식별 등 정보를 생성한다. 다음의 에너지효율 개선을 위한 물리적 조치 단계에서는 자동화 등의 제어 방법과 관리 주체 선정 등을 통하여 에너지효율을 개선하고 에너지 서비스의 편리성을 향상시킨다. 4)

[그림 2-2] 디지털 기술의 결합으로 인한 에너지효율향상



자료 : IEA(2019), “Energy Efficiency 2019”, p. 75~82

디지털화는 스마트 센서, 디지털 트윈(digital twin)5), 사물인터넷(IOT), 인공지능, 시각화 등 다양한 기술과 개념을 포함한다. 예를 들어, 분석단계에서는 산업 시설과 건물에 “디지털 트윈”을 적용하

4) IEA(2019), p. 82~84.
5) 디지털 트윈(digital twin)은 물리적(Physical) 세계와 동일한 가상의(Virtual) 세계를 만들어 시뮬레이션 함으로써 결과를 미리 예측하는 기술이다(박윤미, 2020, p. 15).

여 생산 공정 내 물리적 자산의 디지털 복제를 통하여 설계 변경, 에너지효율 기기 및 기술의 도입이 에너지 사용에 어떤 영향을 미치는지 시뮬레이션하고 기계학습 또는 인공지능을 활용하여 자동으로 에너지 소비를 최적화할 수 있다.

2. 디지털화와 수요관리

디지털화는 에너지효율 개선과 에너지효율 서비스의 편리성 제공 외에 수요반응의 편리성과 수요자원의 가용성을 높여준다.6) 또한, 에너지 프로슈머를 대상으로 태양광 발전 등을 통하여 생산된 전력의 판매 및 ESS 등을 활용한 에너지 저장에 편리성을 제공하여, 분산자원의 확대와 관리에도 기여한다.7) 디지털화는 에너지 소비자로 하여금 수요반응 시장 참여와 분산자원 판매를 통해 수익을 창출할 수 있도록 하며, 수요관리와 분산자원에 대한 투자비의 회수기간을 단축시키고 관련 기기 및 기술의 개발을 촉진한다.8) 또한, 국가와 유틸리티 관점에서 에너지 생산 및 분배와 관련된 손실을 줄이고, 재생에너지 사용을 증가시키며, 에너지 인프라에 대한 투자비용을 감소시켜 에너지 시스템의 효율성을 높일 수 있다.

2.1. 수요반응

가격신호에 반응하여 부하를 감축하거나 이를 다른 시간대로 옮길 수 있는 수요반응은 전력 수요를 자원화하여 전력시장에 참여할

6) IEA(2017), p. 41
7) IEA(2017), p. 97
8) IEA(2019), p. 85~95 내용을 요약 정리함

수 있도록 한다. 디지털화는 IoT 기능 등을 활용한 원격참여, 기상, 가격 조건, 참여시간 등의 자동설정을 통하여 수요자원 시장 참여의 편리성을 높여준다. 우리나라의 표준 수요반응자원(표준 DR)의 참여 조건은 의무감축용량이 커서 대규모 산업체와 건물로 그 대상이 국한되어 있지만, 디지털화를 통하여 중소형 DR 및 2019년 신설된 국민 DR의 참여 확대가 기대된다.[9)]

해외에서는 이미 에너지 디지털화를 통한 수요반응 이용 사례가 늘고 있다. ’OhmConnect’는 북미 지역의 유틸리티 회사와 연계하여 일반 가정이 수요관리 사업에 참여할 수 있도록 중개하는 사업을 수행하고 있다. 유틸리티 회사가 운영하는 지역 내의 가구들을 묶어 전력시장에서 입찰을 진행하고, 낙찰 받은 시간대를 ‘OhmHour’라 명명하여 수요 감축을 발령한다. 프로그램 참여자는 자신의 스마트 미터에 기록된 유사일 실적의 평균치 대비 감축한 부하량만큼 수익을 낼 수 있다. 즉, 평소보다 감축한 부하의 정도에 따라 수익의 크기가 달라지는 것이다.

9) 우리나라 표준 DR의 참여조건은 10㎿ 초과 ~ 500㎿ 이하이다(전력시장운영규칙, p140.)

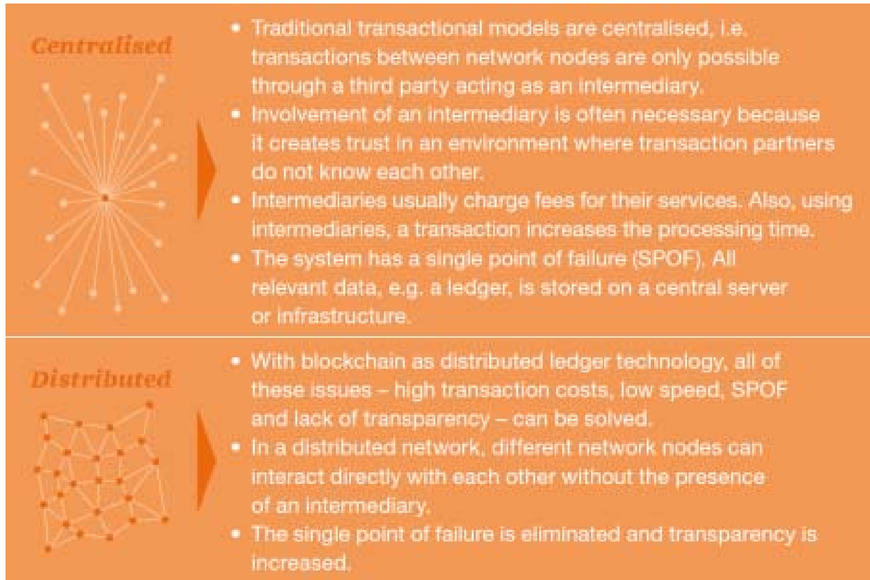
2.2. 분산에너지자원의 활용

전력 시스템에서 분산에너지의 비중은 지속적으로 증가하고 있다, 디지털화는 에너지 프로슈머의 잉여 전력에 대한 저장 및 판매를 용이하게 하며, 판매를 통해 수익을 창출할 수 있도록 하여 분산에너지자원의 확대를 촉진한다. 또한 블록체인 같은 디지털 기술을 활용하여 지역 내에서 생산된 전력의 P2P(Peer to Peer) 거래가 가능해지며, 이를 통해 전력시스템의 유연성과 신뢰성은 강화된다.

전력의 P2P 거래를 가능하게 하는 기술로 많은 주목을 받고 있는 기술은 블록체인이다.[10] 블록체인의 가장 큰 장점은 분산형 데이터베이스를 통한 접근성과 강력한 보안성으로서, 특히 중앙 집중식 데이터베이스의 여러 문제를 해결할 수 있다. 중앙 집중식 데이터베이스는, 한 단말기의 정보가 다른 단말기에 전달되기 위해서는 시스템의 중앙 컴퓨터를 반드시 거쳐야 해서 발생하는 고비용, 느린 속도, 낮은 투명성, 단일 장애점(a Single Point Of Failure; SPOF) 등이 단점이다. 블록체인을 이용하면 이런 구조적 한계를 벗어나 구성원 사이에 정보를 중간 매개체 없이 바로 전달할 수 있고, 정보 전달 기록이 남아 높은 투명성을 유지함과 동시에 강력한 보안성을 가질 수 있다.

10) PwC(2017), p. 8., p.10.

[그림 2-3] 중앙 집중형과 분산형 네트워크 비교



자료 : PwC(2017), “Use Cases for Blockshain Technology in Energy & Commodity Trading”, p. 5.

블록체인을 상품 거래에 활용하여 얻을 수 있는 이점은 ① 신뢰도, ② 정확도, ③ 효율성, ④ 안정된 시장 운영 등 크게 4가지가 있다.[11] 앞서 언급했듯이 블록체인은 그 특성상 거래 기록이 남고, 또한 구성원 간 기록이 일치해야 거래가 이루어지므로 안전한 거래가 가능하다. 중간 정보 전달 매개체가 적어 위변조 및 정보에 오류가 발생할 확률이 낮아 정보의 높은 신뢰도를 보장할 수 있다. 또한 중간 정보 전달 매개체는 적기 때문에 효율적인 시장 운영이 가능하다. 마지막으로 암호화된 정보를 교환하므로 보안성이 높고, 블록체인 활용에 필요한 낮은 법규제 수준과 구현 비용은 안정된

11) PwC(2017), p. 8.

시장 운영을 가능하게 한다.

[그림 2-4] 블록체인 활용을 통해 얻을 수 있는 이익

Transparency	Trust	Efficiency	Control
Make supply chains more transparent, leading to real price for value and linking milestones to actions.	Enable creation of marketplaces for sourcing in an ecosystem.	Lower cost of compliance and lower cost of reconciliation (between subsidiaries).	Auditing, cost control and accounting will be impacted as the handling of payments can be streamlined and automated.

자료 : PwC(2017), “Use Cases for Blockshain Technology in Energy & Commodity Trading”, p. 9.

블록체인을 이용해 전력 등 에너지 P2P 거래가 가능해지면, 더 원활한 전력계통 운영이 가능하다.[12] 기존 계통에서 소비자는 단순히 전력을 소모하는 부하(load) 역할을 하는데 그친다. 소규모 재생에너지 설비를 보유한 사업자는 여러 중간 매개체를 거쳐 전력을 판매해야 한다. 계통 운영자도 정보를 직접 취득할 수 없기 때문에 현재 얼마나 많은 부하가 있는지, BTM(Behind The Meter)[13] 발전기가 얼마나 전력을 생산하는지 파악하는 데 많은 비용과 시간이 필요하다. 이에 반해 만일 계통에서 블록체인을 활용하여 전력 정보를 주고받는다면, 계통 운영자는 수급 균형을 유지하는 데 필요한 정보를 더 많이, 더 빨리 얻을 수 있으며 재생에너지 사업자는 자신이 생산한 전력을 더 쉽게 판매하여 수익을 낼 수 있다.

12) PwC(2017), p. 10.
13) 기존 전력시스템에 포함되지 않는 전력량계 하단을 의미한다.

2.3. 유틸리티의 비용절감 효과

현재 에너지 수요 증가세의 둔화와 분산형 전원의 확대 및 전력 인프라 노후화로 인해, 에너지산업 가치사슬 전반에 걸쳐 많은 과제가 산적해있다. 기존의 성장전략은 한계가 명확하고, 에너지 수급의 안정성을 확보하기 위해 유틸리티 디지털화의 필요성이 커지고 있다. 특히, 가치사슬 전반에 걸친 디지털화를 통해 효율향상 효과를 기대할 수 있다.

발전, 송배전 측면에서는 가스터빈, 풍력/태양광, 송배전망 등의 운전 상태를 모니터링하여, 실시간으로 데이터를 수집·분석하고 원격제어, 고장예측, 예방정비 등의 업무를 효율적으로 관리함으로써 운영비 및 투자비를 절감할 수 있다.

BloombergNEF(2017)는 유틸리티의 디지털화를 통해 실시간 수급균형 플랫폼, 실시간 네트워크 제어, 자산성능 관리, 스마트 자산계획, 에너지 통합 플랫폼 등의 분야로 가치사슬 확대가 가능하다고 전망했으며, 이를 통한 효율향상/비용절감 효과를 제시하였다.[14]

3. 디지털화와 에너지 시스템의 변화

디지털화는 에너지 시스템 전체를 변화시키고 있다. 에너지 소비방식을 변화시켜, 에너지 부문 간 소비와 생산의 경계를 허물고 시스템 간의 통합을 확대하고 있다. 즉, 디지털화는 에너지 부문 간

14) BloombergNEF Digitalization of Energy Systems, https://about.bnef.com/blog/digitalization-energy-systems/ (최종접속일: 2020.10.12.)

수요와 공급의 경계를 허물고 분산자원관리 및 수요관리를 통합하여 에너지의 낭비를 줄이며, 시스템의 신뢰성과 유연성을 높인다.[15) 기존 에너지 시스템에서도 데이터 수집 및 분석을 통하여 에너지 시스템의 성능 향상과 비용 절감 등이 가능했지만, 근본적인 에너지 시스템의 구조를 변화시키지는 못하였다.

[그림 2-5] 디지털화를 통한 전력시스템의 재편



자료 : IEA(2017), “Digitaliation and Energy”, p. 85.

그러나 전력화와 분산전원 등과 결합된 디지털 기술의 연결성은 기존의 전통적인 수요와 공급의 방식을 변화시키고 그리드의 신뢰성과 유연성을 강화한다[16)][그림 2-5]. 이러한 디지털화는 에너지 시

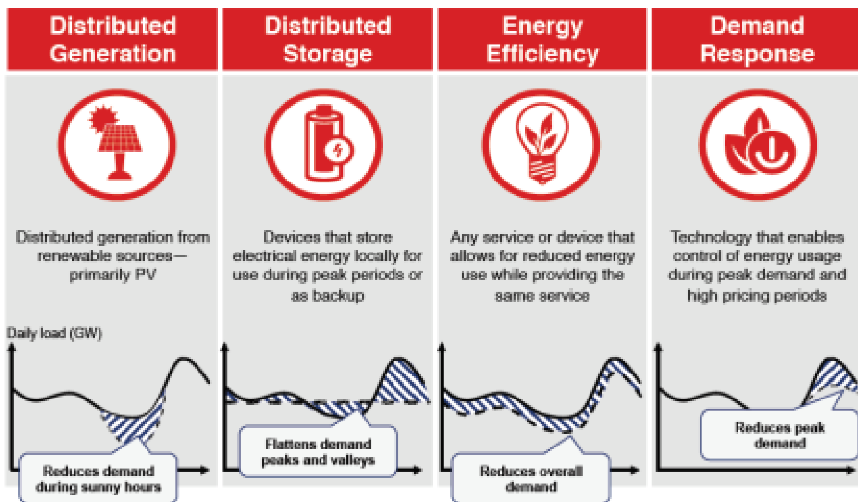
15) IEA(2017), p. 84
16) IEA(2017), p. 85.

스템의 전환을 촉진하고 새로운 비즈니스 모델의 등장을 가속화하며, 에너지 소비자에게 다양한 에너지 서비스를 제공한다.

3.1. 디지털 전환을 통한 에너지 시스템의 진화 과정

디지털 기술의 보급은 그리드의 유연성, 효율성 및 신뢰성을 강화한다. 디지털화를 통하여 상호 연결성과 반응성이 향상된 에너지 시스템으로 진화하고 있다. [그림 2-6]은 디지털 전환을 통한 에너지 시스템의 진화과정을 나타낸다. 에너지 시스템은 새로운 트렌드를 반영하여 공급자원은 분산화되고 수요자원은 통합적 기능과 유연성이 증대된다.

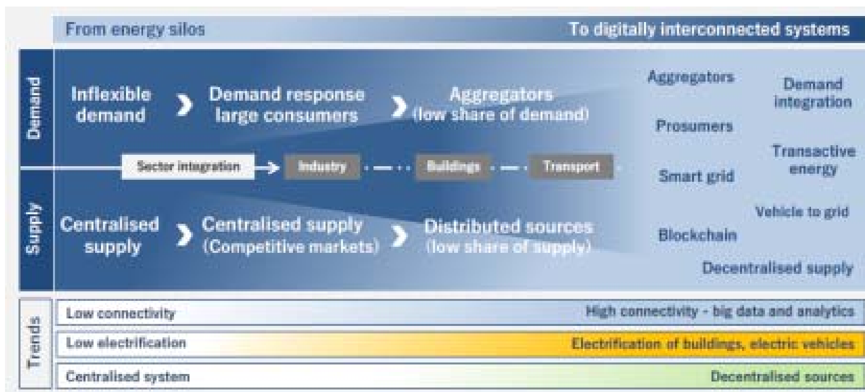
[그림 2-6] 디지털 기술의 발전과 에너지수요자원의 역할



자료 : Astarios et al (2017), “The Future of Electricity New Technologies Transforming the Grid Edge“ P9.

디지털 기술과 분산에너지 자원에 대한 소비자의 선택과 선호도 증가, 관련 기술의 혁신, 데이터 접근성 및 규제 개선 등 다양한 디지털 기술 관련 정책의 뒷받침으로 이러한 변화는 더욱 가속화될 전망이다.[17)]

[그림 2-7] 디지털 전환을 통한 진화과정



자료 : IEA(2017), “Digitaliation and Energy”, p. 85.

3.2. 디지털 전환을 통한 에너지 시스템 진화 방향

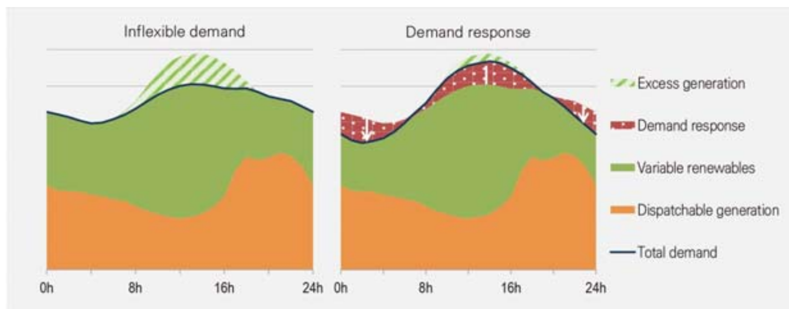
에너지 시스템을 변화시키는 네 가지 요소인 ① 스마트 수요자원(Smart demand response), ② 변동성 재생 에너지의 확대, ③ EV의 역할 강화, ④ 분산화된 계통과 에너지 프로슈머는 디지털화를 기반으로 구현할 수 있는 에너지 시스템 변화의 원동력이다.[18)] 다시 말해, 통신 및 디지털화 인프라가 어느 정도 구축되어 있어야만 실

17) IEA(2019), p. 85, 93~94.
18) IEA(2017), p. 88.

현 가능한 기술 및 서비스이다.

디지털화된 시스템은 수요자원 시스템의 발령 신호에 더 많은 사업자가 유연하게 대응할 수 있도록 한다. 수요자원을 이용하는 목적은 신규 발전소 건설비보다 낮은 비용으로 수급 균형을 유지하는 것이다. 디지털화는 가전제품과 같은 기기의 부하량을 수집할 수 있게 하며, 수집된 정보는 수요자원 감축 발령 이후 자동으로 부하를 조절할 때 활용된다.[19)]

[그림 2-8] 일별 부하 곡선에 나타나는 수요자원의 영향



자료 : IEA(2017), “Digitaliation and Energy”, p. 90.

공급 부족이나 송전 혼잡 발생 시 냉난방기, 산업용 보일러, 스마트 가전 등의 기기의 출력을 자동으로 조절하거나 전원을 내릴 수 있다. 단순히 부하를 낮추는 개념을 넘어, 계통이 위급하지 않은 시간에 전력을 소비하는 등의 방식을 통해 부하 곡선을 완만하게 할 수 있다. 디지털화는 전력 소비자의 일상생활에 영향을 주지 않으면서 이러한 효과를 거둘 수 있다.

19) IEA(2017), p. 89.

태양광이나 풍력과 같은 변동성 재생에너지는 본질적으로 출력이 불안정하므로 기존 발전원보다 예측성이 떨어진다. 변동성 재생에너지 공급이 증가함 따라 전력시장은 변화하고 있다. 변동성 재생에너지의 불안정한 출력을 감당하기 위해 빠른 출력량 조절이 가능한 유연성 자원이 계통 신뢰도와 비용 효율에 있어 중요한 역할을 하게 되었다. 따라서 변동성 재생에너지 공급의 증가는 전력계통 유지와 계획 수립 과정에 많은 영향을 미친다. 이런 상황에서 배터리를 활용한 에너지 저장을 포함하는 수요자원은 변동성 재생에너지의 보급 확대와 탈석탄화를 촉진하는 효율적인 방안이 될 수 있다.[20]

계통에 변동성 재생에너지가 상당한 규모로 보급되는 경우, 계통 유연성 문제로 인해 상당수 재생에너지의 출력이 제약받을 수 있다. 국가 간 계통 연계를 통해 계통 유연성을 보강하고 있는 유럽에서도 전체 발전량의 27% 이상을 재생에너지로 공급하는 순간, 추가적인 유연성 보강 조치가 필요하다. IEA(2016)에 의하면, 유럽 연합에서 2040년에 연간 총 85TWh의 출력 제약이 일어날 것으로 예측한다. 디지털화한 수요자원 및 저장장치의 보급과 활용을 통해 출력 제약을 완화할 수 있는데, 출력 제약량을 67TWh, 탄소 배출량을 30Mt 줄일 수 있다.

20) IEA(2017), p. 93.

[그림 2-9] 2040년 유럽지역 재생 에너지 출력제약량과 제약량 감축량



자료 : IEA(2017), "Digitaliation and Energy", p. 94.

EV의 보급은 빠른 속도로 진행되고 있다. 2016년에 하이브리드 차종을 포함한 EV는 전체 차량 대수의 약 0.1%에 해당하는 2백만 대로 늘어났다(IEA, 2017). EV 충전 인프라는 앞으로도 계속 확충될 것이며 에너지시스템에 상당한 영향을 미칠 수 있다.[21)]

EV는 이동 가능한 전력 수요이며, 하루 중 언제 어디서나 충전할 수 있다. 보통 가정과 사무실의 EV 충전기에서는 저속으로, 공공 EV 충전기에서는 고속으로 충전할 수 있다(Fitzgerald and Nelder, 2017). 전력 가격이 낮은 시간대에 충전하면 높은 시간대에 충전하는 것에 비해 비용을 절감할 수 있다. 따라서 EV가 계통을 통해 전력을 공급받는 시간대, 장소 및 양은 운전자의 생활패턴뿐만 아니라 충전비용에도 영향을 준다.

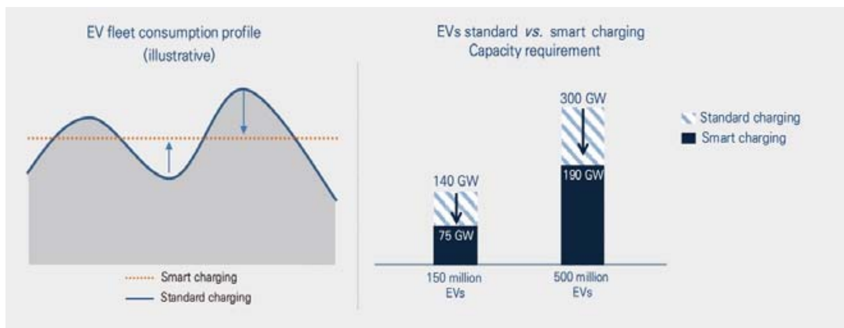
디지털화를 통한 EV 충전 전략 수립은 이러한 비용적 측면을 최대한 고려하게 된다. 스마트 충전을 통해 전력 생산이 풍부할 때

21) IEA(2017), p. 94.

충전하고 계통이 혼잡할 때는 충전하지 않고 대기할 수 있어 충전 비용을 최소화할 수 있다. 다만 스마트 충전을 이용하기 위해서는 디지털화를 통해 충전기와 시스템 간 통신이 가능해 계통 운영자가 특정 시간에 수요를 늘리거나 줄이는 요청을 보낼 수 있도록 해야 한다.

유틸리티 사업자와 배전계통 운영자 입장에서도 EV의 충전 위치와 시기는 중요하다. BTM을 통해 EV에 충전하는 경우, 대부분 낮 시간대에 태양광 전력을 통해 가정과 사무실의 충전기로 충전하도록 최적화된다. 배전망을 통해 EV에 충전하는 경우 계통 운영자에게 수익을 제공함과 동시에 스마트 충전을 통해 계통 유연성에 도움을 줄 수 있을 것이다.

[그림 2-10] 기존 EV 충전 방식과 스마트 충전 방식 비교

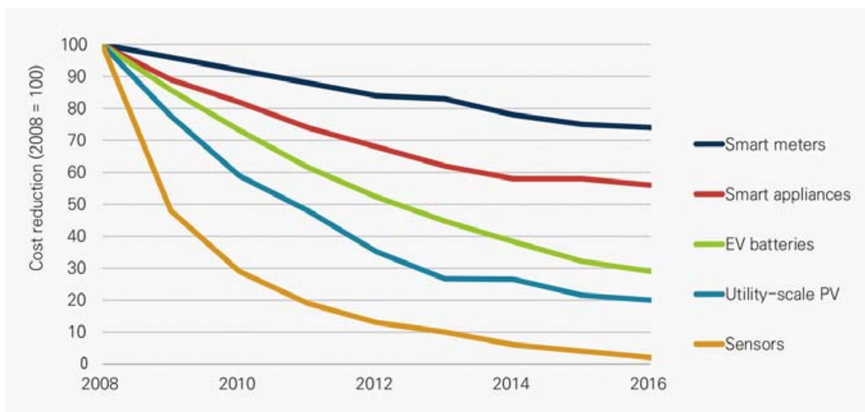


자료 : IEA(2017), “Digitaliation and Energy”, p. 96.

앞으로 전력계통은 더 많은 분산자원이 배전망에 접속하게 되면서 더욱 분산화될 것이다. 태양광과 ESS의 가격은 지속적으로 하락할 것이고, 전력 사용자들의 수요자원 프로그램 참여는 확대될 것

이며, 계량기에 검침되지 않는 전력의 생산과 저장은 증가할 것이다. 디지털화는 이렇듯 계통에서 전력 생산과 소비가 보다 자유롭게 이루어지도록 효율적으로 관리할 수 있는 방안이다.[22)]

[그림 2-11] 주요 전력자원의 단위가격 추이



자료 : IEA(2017), “Digitaliation and Energy”, p. 88.

디지털화는 소비자에게 전력의 생산과 소비, 저장에 더 적극적으로 참여하게 한다. 하지만 계통의 완전한 분산화가 이루어지지 않은 상황에서, 분산자원은 충분히 활용되지 못하고 오히려 계통의 수급 균형을 방해하는 요인이 될 수 있다. 하지만 분산화된 계통이 중앙 집중형 계통과 비교해 더 우수하다고 말할 수는 없다. 각각의 장단점이 분명히 존재하며, 계통에 따라 디지털화 및 분산화할 여건을 갖추지 못한 계통도 존재한다. 오히려 중앙 집중형 계통이 분산화된 계통은 제공할 수 없는 서비스를 운영할 수 있거나 계통 안정성 유지에는 강점을 보인다.[23)]

22) IEA(2017), p. 97. 내용을 요약하여 정리함

4. 디지털화와 에너지 부문별 영향 및 동향

IEA(2019)는 디지털화를 통하여 2040년까지 건물부문 에너지 수요의 10%와 산업부문 에너지 수요의 30%[24]가 감축될 것이라고 전망했다. 또한, 수요반응 가용자원은 현재 40GW에서 10배 이상 증가한 450GW 수준이 될 것이라고 전망했다. 디지털화는 단일기기 및 시스템의 에너지효율 개선을 포함하여 사업장 단위의 에너지 사용 최적화를 통한 에너지효율 개선, 지역 단위의 에너지효율 개선으로 이어질 것이다. 국내에서는 정책적 지원을 통해 관련 생태계 육성과 성장을 꾀하고 있다(관계부처 합동, 2019, p. ii).

4.1. 건물부문

건물부문 에너지 소비에 있어 자동제어, 네트워크 센서, 자동화, 데이터 분석 소프트웨어, 에너지 관리시스템, 모니터링 기반 커미셔닝(MBCx)[25] 등의 다양한 에너지효율 기술을 통하여 건물의 에너지 효율은 개선될 수 있다.[26] [그림 2-12]는 건물 에너지 소비와 날씨 등 관련 데이터의 수집, 이를 연계한 분석, 건물 에너지효율 기술의 유기적인 연결 등 스마트 빌딩과 관련된 에너지효율 기술을 보여준다.

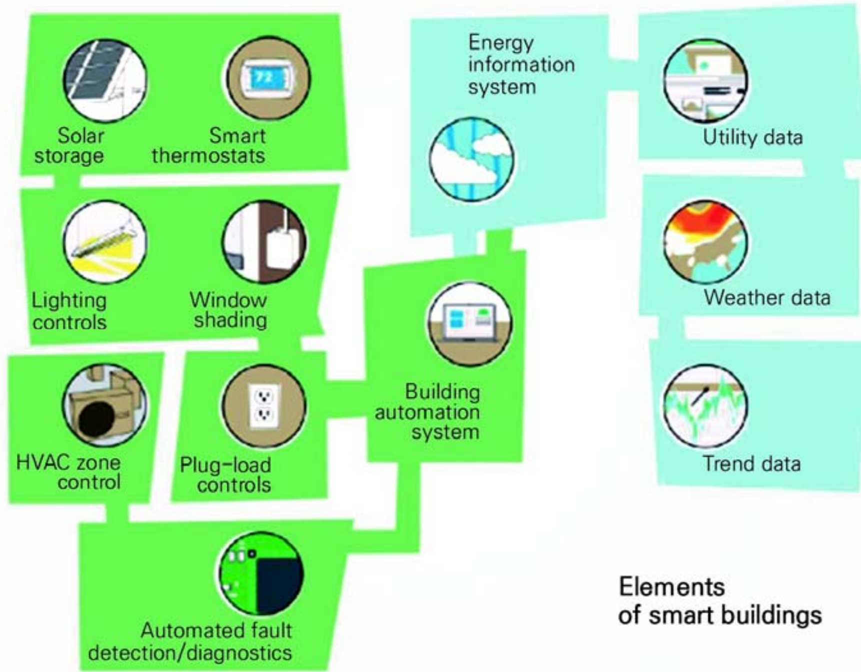
23) IEA(2017), p. 97~99. 내용을 요약하여 정리함

24) 산업부문 에너지 수요에 대한 디지털화의 영향은 해당 산업과 활동유형, 생산 프로세스의 복잡성, 기업의 재무능력, 관리시스템의 통합 정도에 따라 달라지며, IEA(2019)는 최대 30%의 절감효과를 가져올 수 있을 것이라고 추정한다.

25) 모니터링 기반 커미셔닝은 시뮬레이션을 통하여 실제 달성 가능 에너지효율과 실제 건물에서 사용되는 에너지 소비량을 비교분석하여 데이터 마이닝이나 기계학습을 통하여 개선점을 찾아내는 기술이다. (이상학 (2016), p. 766.)

26) King and Perry (2017), p. 4.

[그림 2-12] 스마트 빌딩과 관련된 에너지효율 기술



자료 : King and Perry (2017), “ Smart Buildings: Using Smart Technology to Save Energy in Existing Buildings”, p. 4.

전통적 건물에너지관리시스템에서는 건물 내부 정보인 센서로부터 수집하는 데이터, 각종 설비 운영정보가 대시보드에 표시되어 건물관리자만 활용하였다면, 지능형 건물에너지관리시스템에서는 AI 알고리즘을 접목하여 기상정보, 교통상황, 분산전원과 같은 외부 정보를 조합한 분석결과를 제공한다. 날씨가 추운 지방에서는 AI와 난방시스템을 접목하여 유연성을 증대시킴으로써, 신재생에너지 활용도를 높이고 피크 전력 수요를 낮추는 효과를 가져왔다.[27]

27) IEA(2019), p. 80~81

[그림 2-13] 스마트 빌딩의 영역



자료 : European Commission (2017), “Smart Building: Energy Efficiency application”, p. 2.

디지털화를 통하여 건물의 에너지효율 개선 외에 수요자원 거래시장 참여의 편리성과 가용 자원이 확대되고, 분산자원과의 연계 및 에너지 서비스의 편리성이 크게 증가할 수 있다. 건물 부분의 절감 잠재량이 가장 큰 분야는 조명 및 냉·난방 기기이다. 기기와의 연결성과 제어기능의 향상, 소비패턴의 학습 등 디지털 기술을 활용하여 냉·난방 부하 최적화 및 조명 부하 감축 등을 통하여 에너지효율을 개선할 수 있다.[28] 기기 및 설비의 사용시간 변화를 통하여 피크 부하를 감축할 수 있고 사용자가 지정한 시간과 가격에 수요자원 거래시장에 자동으로 참여할 수 있으며, 수요반응의 편리성이 향상되고 가용 자원을 향상시킨다. 분산에너지자원과의 연계를 통하여 수용 대응 시간과 정전 시 즉시 대응할 수 있는 장점을 가진다. 에너지 서비스의 편리성 측면에서, 건물의 에너지 성능에 대

28) IEA(2017), p. 44~45.

한 실시간 프로파일링 및 모니터링을 통하여 유지보수 시점, 고장 예방, 효율개선 기회를 식별한다.29) 지능형 건물 에너지 관리시스템에는 클라우드 기반 원격 빌딩 모니터링이 인기를 끌고 있다.30) 이 방식은 에너지 서비스 공급업체가 제공하는 웹 기반 에너지 관리 플랫폼을 통해 에너지 시스템의 운용 및 에너지 성능 데이터를 수집, 분석하고 기상 예측, 전력 요금 등 외부 요인 변화를 반영하여 예상 운용 변화를 시뮬레이션한다.31) 클라우드 기반 건물 관리 프로그램은 비용회수기간이 1~2년으로 기존 건물 에너지 관리 시스템에 비해 소비자의 비용 부담을 완화시킨다.

디지털 기술을 활용한 건물에너지 수요관리를 위해서는 시스템 단위의 에너지 최적화 등 에너지효율 개선과 더불어 수요자의 서비스 편리성 향상을 통해 참여를 활성화해야 한다. 이를 위해서는 기존 에너지 효율기기 및 설비 보급을 위한 사전 인센티브 지원방식을 벗어나 새로운 지원방식을 모색할 필요가 있다. 센서, 계량기 및 컨트롤러와 같은 구현 기기 및 기술을 포트폴리오에 포함하여 실제 절감된 사용량에 대해 인센티브를 제공하는 사후 인센티브 개념인 성과지급 프로그램(Pay-For-Performance)의 도입이 필요하다.32) 미국은 스마트기술이 적용된 개별기기에 대한 인센티브 및 성과 지급 프로그램을 활용하여 포괄적인 시스템 단위의 고객맞춤형 인센티브를 지급한다. 이를 통해 디지털 센서, 스마트 계량기, 분석 소프트웨어에 대한 지원 등 디지털 기술을 활용한 에너지효율 개선에 인센티브를 제공하며, 에너지 분야의 디지털 기술 활용을 촉진한다.

29) IEA(2017), p. 41
30) King and Perry (2017), p. 27.
31) King and Perry (2017), p. 15.
32) King and Perry (2017), p. 31.

4.2. 산업부문

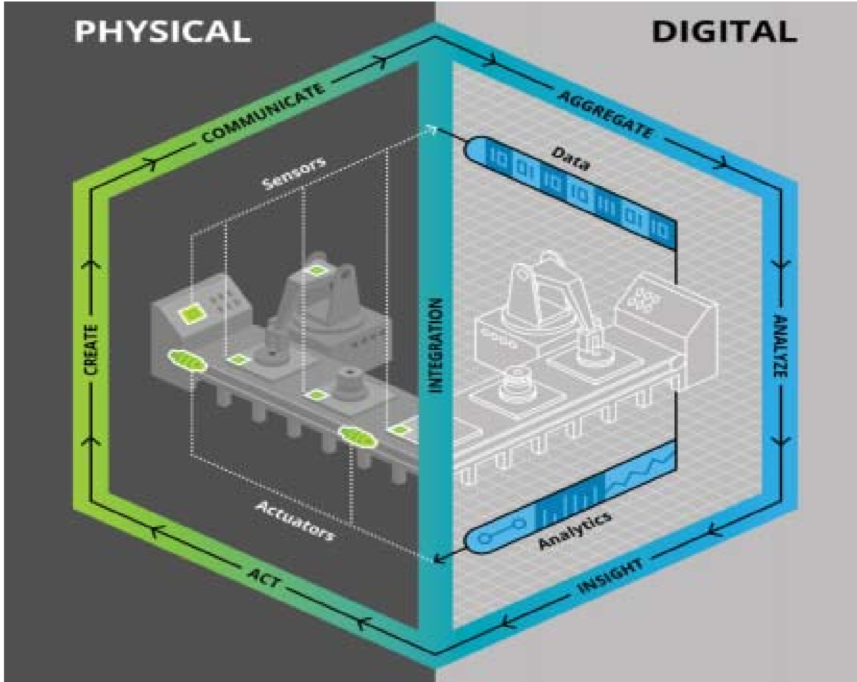
디지털 기술을 제조분야에 접목하여, 데이터 분석 기술을 향상시키는 것은 기기 및 설비 수준의 에너지효율 개선뿐 아니라 공장 전체 제조시설부터 에너지 공급의 안정성 향상에 이르기까지 제조분야의 에너지효율을 개선한다.[33] 산업부문의 지능형 통신 시스템은 실시간 에너지 절약, 고장 조기 감지 등을 통해 생산성 향상과 비용절감을 가능하게 하여 기업의 경쟁력을 높인다. 또한 데이터와 지능형 알고리즘 분석을 통한 의사결정을 지원하여, 에너지관리 등의 분야에서 기업이 최적의 조건으로 운영할 수 있도록 도와준다.[34] 디지털 기술을 활용하여 산업의 생산성과 운영의 안정성을 높인 기업들은 오래전부터 있었으며, Schneider Electric. General Electric, Honeywell, 3M, Bosch, Rockwell Automation 등의 기업들은 생산 및 에너지 사용 데이터를 분석하기 위한 종합적인 디지털 모니터링 및 제어가 가능한 플랫폼을 제공하고 있다.[35]

디지털 기술 중 하나인 블록체인은 모든 생산과정에 투입되는 요소들을 안전하게 기록하는 데에 사용될 수 있다. 이는 에너지 관리자나 환경 영향 평가자 등이 에너지효율을 극대화하고 낭비를 최소화하는 솔루션을 찾는 데에 일조할 수 있다. 각종 Case Study에 따르면, 블록체인 기술은 해외 White Certificate(에너지 소비 절감을 증명하는 단위, 에너지 절감 의무이행 시 거래가 가능함) Scheme에 투명성과 신속성을 부여하는 동시에 거래비용을 줄여주어 에너지효율 정책 이행에 큰 역할을 할 수 있다는 것을 보여주고 있다.[36]

---

33) Nimbalkar et al (2017), p.2-114
34) Nimbalkar et al (2017), p.2-114
35) Nimbalkar et al (2017), p.2-117

[그림 2-14] Digital Twin을 활용한 디지털적 구현



자료 : Deloitte(2017) “Industry 4.0 and the digital twin”, p. 5.

[그림 2-13]의 Digital Twin은 실제 설비나 시스템의 디지털적 구현을 보여주고 있다. 주로 3D 프린터 기술을 이용하여 데이터 기반 분석과 실제 세상과의 차이를 좁히는 징검다리 역할을 하는 데에 활용되고 있다.[37] Digital Twin은 시뮬레이션에 주로 활용되어 설비나 시스템의 사용 패턴이나 구조 등 에너지 소비에 변화가 있을 때 실제 설비나 시스템에 변화를 주지 않고도 결과를 예측하여 영향을 파악할 수 있다. 이러한 특성 덕분에 산업부문에 새로운 생산방식

36) IEA(2019), p. 78
37) IEA(2019), p. 81~82

도입의 장애요인인 생산중단, 생산성 저하 등의 우려를 덜 수 있게 한다. 예를 들어, 전력시스템, 석유 시추, 항공 분야, 반도체 파운드리와 같이 에너지 소비구조나 패턴 변화를 실제 적용해보기 어려운 대규모 시스템 및 설비에 적용되어 최적화된 소비 패턴이나 우발적 사고의 영향을 파악하여 미리 대응할 수 있게 한다.

또한, 디지털 기술과 네트워크를 통한 연결성은 기업 내부의 기기 및 설비 수준의 효율 개선과 시스템 단위의 최적화를 넘어 기업 간 네트워킹을 가능하게 한다. 네트워킹을 통한 벤치마킹은 기업 간 에너지효율 수준과 에너지 비용의 비교를 가능하게 하여 에너지 효율 개선과 비용 절감을 실현할 수 있다.[38)]

38) Mohamed et al (2019), p. 18014.

제3장 수요관리 활성화를 위한 디지털 생태계 조성

현재 사업장이나 건물의 시스템 단위 에너지 관리는 EMS(Energy Management System)를 통해 이루어지고 있다. 본 연구는 4차 산업혁명과 관련된 디지털 기술들을 에너지 수요관리에 적용하기 위해 전문가 설문을 통해 현재 에너지 소비자가 직면하고 있는 EMS 도입에 대한 시장 장애요인을 계층화 분석법(AHP)으로 진단하고, 4차 산업기술을 활용한 에너지 투자활성화를 위하여 소비자의 진술선호(Stated Preference)를 토대로 향후 4차 산업기술 관련 수요관리 서비스의 선호도를 선택실험을 통해 도출하고자 한다.

1. 설문조사 개요

디지털 기술을 활용한 수요관리의 선호도 분석 및 주요 시장 장애요인 식별 및 제거를 위하여 에너지 다소비 사업장에 근무하는 에너지 관리자를 대상으로 전문가 설문을 수행하였다. 본 연구의 응답을 위해 4차 산업혁명 기술을 활용한 에너지 수요관리에 대한 이해가 필요하기 때문에 BEMS 또는 FEMS를 활용하고 있는 기관에 재직 중인 전문가를 대상으로 설문을 수행했다. 총 192명의 표본 중 이에 해당하는 응답자는 77명이었다.

일반적으로 선택실험을 위해 통계적으로 필요한 응답자는 150명 이상으로 알려져 있지만 반복설문의 수(tasks)[39]와 대안수를 늘려 이를 보완하는 방법을 이용하고 있다. 본 연구는 표본 당 반복설문의

39) Orme (2010), p. 6

수를 타입 당 10회 이상 충분히 하여 낮은 응답자의 수를 보완하고, 전문가인 응답자의 일관성 있는 설문을 통해 유의미한 결과를 도출할 수 있었다.

〈표 3-1〉 전문가 재직기관 분류와 표본 수

분류	표본 수
상업건물	3
연구기관	5
공공기관	57
의료기관	1
상업건물	3
대기업	6
중소기업	2
총계	77

자료: 저자작성

2. 디지털 기술을 활용한 에너지효율 개선의 장애요인

에너지 소비자는 디지털 기술을 활용한 에너지효율 개선 투자에 다양한 시장 장애요인들을 경험하게 된다. 에너지효율 개선 투자에는 에너지효율기기나 설비에 대한 투자와 마찬가지로 경제적, 정보적, 정책적, 기술적, 기업 내부적 장애요인이 존재한다(<표 3-2> 참조)[40][41]. 장애요인을 극복하기 위해서는 국내 에너지 관리자가 체감하는 장애요인들에 대한 식별 및 우선순위를 파악하여야 한다. 비용효과적인 정책은 장애요인 극복을 통하여 디지털 기술을 활용한 효율 개선을 더욱 가속화할 수 있다.

40) IEA(2017), p. 56~57, 81.
41) Roger et al (2013), p. 35.

〈표 3-2〉 디지털 기술을 활용한 에너지효율 투자 관련 장애요인

대항목	소항목	내용
정보적 측면	설비 정보 부족	에너지 절감 고효율기기 · 설비 관련 정보 부족
	신뢰성 정보 부족	절감효과 신뢰도·정확도에 대한 정보 부족 (성공·실패 등 설치 및 활용사례)
	경제성 근거 부족	경제성 판단근거에 대한 정보 부족 (에너지 효율투자에 대한 판단기준)
기술적 측면	기술수단 부족	사업장 또는 건물에 적합한 효율향상 설비 및 기술 수단의 부족
	생산의 위험성	신규 기기 및 설치 설비 시 발생할 수 있는 생산 · 가동중단 등 위험성
	절감효과 미비	에너지효율 투자로 발생되는 투자대비 절감효과 미미
경제적 측면	높은 초기투자비용	높은 초기투자비용 발생으로 인한 부담
	자금조달의 어려움	투자자금 조달 등 재원마련의 어려움 (대출지원 등 자본에 대한 접근성)
	투자비회수 장기화	투자대비 에너지 절감효과 미비로 인하여 발생하는 투자비 회수의 장기화
정책적 측면	지원책 부족	보조금·융자지원 등 지원책 부족 (효율향상 투자 유인 및 규제 부족 등의 투자환경)
	복잡성 및 접근성	절차의 복잡성 및 제한적인 접근성
	기초인프라 부족	기술개발(R&D), 전문인력 양성 교육 등의 기초인프라 지원 부족
기업 내부적 측면	낮은 우선순위	효율향상 투자 및 개선의 낮은 우선순위
	경영진 및 임원진의 관심부족	최고경영자 또는 임원진의 에너지효율 투자에 대한 관심 부족
	사내 전문가 부족	담당 인력 및 전문가 부족

자료 : 산업부문 전력 에너지효율 투자 행태분석 및 인센티브 개선방안(박지용, 이성인, 2020)을 참고, 요약하여 저자작성

2.1. 장애요인 식별 및 우선순위 파악을 위한 방법론

계층화 분석법(Analytical Hierarchical Process; AHP)은 일반적으로 한정된 자원의 효율적 배분을 위한 성과평가를 위하여 수행하는 다기준 의사결정(multi criteria decision making) 과정이다. 의사결정기법에서 AHP가 우수한 점은 복잡한 의사결정 구조(complex)에서 다양한 사람(multiperson), 다양한 기준(multicriterion), 다양한 기간(multiperiod)이 포함된 문제를 계층화를 통해 해결한다는 점이다(Wind and Saaty, 1980, p. 641).

상충하는 대안 간 의사결정을 내려야 할 경우 의사결정의 우선순위를 정할 수 있는 정량적인 틀을 설정하는 것은 어렵다. 이러한 경우 계층화 분석법을 상충 가능성이 있는 대안에 대한 다양한 평가기준과 평가항목들에 대해 전문가의 정성적 지식을 쌍대비교를 통해 정량화하여 각 요소들의 가중치 또는 중요도를 결정하는 방법론으로 활용할 수 있다(곽승준 외., 2001, p. 373). 즉, 평가자가 가진 다양한 기준에 의한 주관적 견해가 문제 해결의 핵심적인 역할을 하고, 주관적인 견해를 AHP를 통해 정량화할 수 있다(Rangone, 1996, p.116).

AHP는 분석 목표와 관련된 대안들을 기준에 따라 주요 요인과 세부 요인으로 나누어 계층화한다. 본 연구는 디지털 기술을 활용한 에너지효율 투자에 대한 장애요인을 도출하기 위해 주요 요인을 5가지 측면(정보적 측면, 기술적 측면, 경제적 측면, 정책적 측면, 기업내부적 측면)으로 구분하였다. 이후 각 주요 항목별 세부요인 중 중복 항목과 유사 항목을 최대한 배제하고, 각 주요 요인별 핵심 세부요인을 도출하였다.

도출된 장애요인에 대하여 주요 요인별/세부요인별 쌍대비교(정보-기술, 정보-경제, 정보-정책, 정보-기업내부, 기술-경제, 기술-정책, 기술-기업내부, 경제-정책, 경제-기업내부, 정책-기업내부)를 수행하고, 주요 요인 내의 세부 요인별 쌍대비교를 수행한다. 이후 고유치 방법을 사용해 의사결정 요소들의 상대적 가중치 벡터(w')를 추정하고, 고유치(λ)를 통해 일관성 지수(Consistency Index, CI)를 산출한다. 이후 일관성비율(Consistency Ratio, CR, 식 4)을 구해 응답의 일관성을 평가한다.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & a_{23} & \cdots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & 1 & \cdots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$a_{ij} = w_i / w_j \ (i, j = 1, \ldots, n), a_{ij} = 1/a_{ji} \quad (2)$$

$$A' \cdot w' = \lambda_{\max} \cdot w' \quad (3)$$

$$\begin{aligned} CR &= CI/RI \\ CI &= (\lambda_{\max} - n)/(n-1) \\ RI &= Random\,index \end{aligned} \quad (4)$$

마지막으로 의사결정요소들의 상대적인 가중치를 주요 요인별 가중치를 바탕으로 종합화한다. 종합화를 위하여 가중치의 기하평균값을 구해 각 요인에 대한 전체 전문가들의 평가치를 통합한다.

2.2. 장애요인의 우선순위 도출 결과

디지털 기술을 활용한 에너지효율 투자와 관련된 장애요인 중에서 에너지 관리자가 평가하는 가장 중요한 것은 경제적 측면이었다. 다음으로 기업내부적 측면, 정책적 측면, 기술적 측면, 정보적 측면이었다. 경제적 측면에서 가장 높은 중요도를 차지하는 세부요인은 높은 초기 투자비용과 투자 대비 에너지 절감효과 미비로 인해 발생하는 투자비 회수의 장기화문제였다. 기업 내부적 측면에서 중요도가 가장 높은 세부요인은 효율향상 및 개선에 대한 투자 우선순위가 낮은 것이었다. 정책적 측면에서 가장 높은 중요도를 차지하는 세부요인은 기술개발과 전문인력 양성교육 등의 기초인프라에 대한 지원 부족이었다. 기술적 측면에서 가장 높은 중요도를 차지하는 세부요인은 에너지효율 투자로 발생하는 투자비용 대비 절감효과가 미미한 점이었다. 정보적 측면에서의 가장 높은 중요도를 차지하는 세부 요인은 경제성 판단 근거에 대한 정보 부족이다.

본 연구의 전문가 응답결과에서 도출된 장애요인 우선순위는 경제성 관련 부분(경제성 근거 부족, 절감효과 미비, 투자비 회수의 장기화)에 집중되었다(<표 3-3> 참조).

〈표 3-3〉 장애요인별 중요도 분석결과

	주요요인	중요도		세부요인	주항목 내 중요도
1	정보적 측면	10.0%	(1)	설비 정보 부족	12.1%
			(2)	신뢰성 정보 부족	28.0%
			(3)	경제성 근거 부족	43.5%
2	기술적 측면	17.2%	(1)	기술수단 부족	32.5%
			(2)	생산의 위험성	21.5%
			(3)	절감효과 미비	34.3%
3	경제적 측면	27.1%	(1)	높은 초기투자비용	32.3%
			(2)	자금조달의 어려움	12.5%
			(3)	투자비회수 장기화	47.5%
4	정책적 측면	20.1%	(1)	지원책 부족	34.6%
			(2)	복잡성 및 접근성	11.4%
			(3)	기초인프라 부족	47.8%
5	기업 내부적 측면	25.7%	(1)	낮은 우선순위	35.8%
			(2)	경영진 및 임원진의 관심부족	17.0%
			(3)	사내 전문가 부족	29.0%

자료: 저자작성

디지털 기술을 활용한 에너지효율 투자에 대한 장애요인을 각 세부항목별 우선순위로 정리해도 유사한 결과가 나타났다. 중요도가 가장 높았던 경제적 측면의 투자비 회수 장기화가 디지털 기술을 활용한 에너지효율 투자에 대한 장애요인 중에서도 가장 우선순위로 해결해야 할 요인으로 평가되었다. 반면, 경제적 측면의 자금조달 문제(12위)는 중요도 비중이 3.7%로 우선순위가 낮았다. 즉, 투자비 조달의 장벽은 높지 않지만, 투자에 대한 회수의 불확실성으로 인해 수요관리 서비스의 도입을 주저하는 것을 확인할 수 있다. 기업 지배구조상에서 발생하는 에너지효율 분야에 대한 투자 우선순위가 낮은 것(2위)은 중요도가 두 번째로 높은 것으로 나타났다. 기업 내부적 측면에서 에너지효율 관리 관련 전문가 부족(5위) 또한 높은 순위를 차지했지만, 경영진 및 임원진의 관심 부족(9위)은 상대적으로 우선순위가 낮았다. 즉, 기업 내부적 측면에서 에너지효율 투자에 대한 관심이 없는 것은 아니나, 기업 내부 의사결정 구조상 우선순위가 낮으며, 전문가 부족(5위)이 상대적으로 중요한 장애요인인 것으로 나타났다. 중요도가 세 번째로 높은 세부항목은 디지털 기술을 활용한 에너지효율 투자를 위한 기초 인프라 부족(3위)이었고, 지원책 부족(6위)도 중요도가 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 에너지효율 정책의 절차적 복잡성 및 제한적 접근성(14위)은 낮은 우선순위를 보였다. 즉, 정책실패를 예방하기 위해 기초인프라 확보를 위한 전문인력 양성교육, 기술개발 등에 대한 지원이 우선적으로 수행되어야 할 것이다. 정보적 측면과 기술적 측면의 세부항목들은 대부분 우선순위가 떨어지는 것으로 나타났다.

〈표 3-4〉 디지털 기술을 활용한 에너지효율 투자에 대한 장애요인의 우선순위

우선순위	주항목	세부항목	중요도
1	경제적 측면	투자비 회수 장기화	13.9%
2	기업 내부적 측면	낮은 우선순위	11.2%
3	정책적 측면	기초인프라 부족	10.3%
4	경제적 측면	높은 초기투자 비용	9.5%
5	기업 내부적 측면	사내 전문가 부족	9.1%
6	정책적 측면	지원책 부족	7.4%
7	기술적 측면	절감효과 미비	6.7%
8	기술적 측면	기술수단 부족	6.3%
9	기업 내부적 측면	경영진 및 임원진의 관심 부족	5.3%
10	정보적 측면	경제성 근거 부족	5.2%
11	기술적 측면	생산의 위험성	4.2%
12	경제적 측면	자금조달의 어려움	3.7%
13	정보적 측면	신뢰성 정보 부족	3.3%
14	정책적 측면	복잡성 및 접근성	2.4%
15	정보적 측면	설비정보도 부족	1.4%

자료: 저자작성

본 연구의 분석결과와 선행연구를 종합해보면, 우리나라의 경우 디지털 기술을 활용한 에너지효율 투자 활성화를 위한 우선순위로 투자비용 회수의 확실성을 높일 수 있는 정책적 지원방안을 모색하고, 에너지효율관리 투자의 필요성에 대한 기업의 인식을 높일 수 있는 방안을 강구해야 한다. 에너지효율 투자가 큰 비용절감 효과를 내지 못하는 것도 수요자의 의사결정에서 낮은 우선순위를 가지는 한 가지의 이유이다. 만약 디지털 기술을 활용한 에너지효율 개선이 높은 수준의 비용절감 효과를 낼 수 있다면 비용절감효과의 극대화를 위해 디지털 기술을 활용한 에너지효율 투자 의사결정에 있어 우선순위가 높아지게 될 것 이다.

3. 에너지효율 개선을 위한 EMS 기반 디지털 기술 관련 소비자 선호

에너지 소비자는 기존 기기들에 센서 연결, Wi-Fi 기능 등을 탑재한 에너지효율기기 구입 및 운용을 통하여 디지털 기술을 에너지관리에 접목할 수 있다. 본 설문 조사는 수용가의 디지털 에너지효율 투자 선호를 조사하기 위하여 기존 시스템 단위의 EMS에 어떠한 방식으로 디지털 기술을 활용하여 에너지효율을 높일 것인지에 대한 선호도를 조사하였다.

본 연구에서는 이산선택실험(Discrete Choice Experiment)을 수행하여 에너지 관리자가 평가하는 에너지효율향상을 위한 디지털 기술의 선호를 도출하고자 한다. 일부 디지털 기술은 현재 존재하는 서비스가 아니기 때문에 가상의 대안을 설정하고, 이에 대한 에너지 전문가의 응답을 혼합로짓모형(Mixed Logit Model)으로 분석한다. 이어 각 속성에 대한 의사결정의 상대적 중요도를 도출하고, 기업

규모별 연간 에너지 비용을 바탕으로 디지털 기술의 속성별 지불의사액을 도출한다.

3.1. 전문가 선호 분석 방법론

이산선택실험법(Discrete Choice Experiment, DCE)은 재화, 서비스, 또는 정책에 대한 소비자들의 수용성과 편익 분석을 위해 이용되는 대표적인 방법론이다(Train, 2009, p.152). 이산선택실험은 현시선호(Revealed-preference) 혹은 진술선호(Stated-preference)를 이용해 소비자의 선호를 도출하는데, 본 연구는 아직 시장에 출시되지 않았거나 아직 시장 초기단계에 있는 제품 또는 서비스에 대한 소비자의 선호를 분석하는 것을 목적으로 하므로 진술선호 기반의 설문을 통해 가상의 상황에서 주요 속성들로 구성된 대안의 집합 중 소비자들이 선호하는 순위를 기록하거나 특정 대안을 선택하는 방식으로 수행하였다. 이를 통해 소비자들이 대안을 구성하는 각 속성에 부여하는 가치를 추정할 수 있다. 응답자가 여러 대안 중에서 가장 선호하는 대안을 선택하는 구조이므로, 로짓/프로빗모형과 같은 이산형 종속변수 분석모형을 통해 분석하게 된다. 이용자의 실제 선택 상황과 유사하게 여러 선택 가능한 대안 중 가장 높은 효용을 주는 유일 대안(mutually exclusive)을 선택하거나 선호 순위(rank-ordered)를 선택하는 행위를 통해 합리적인 소비행동을 분석하는데 적절한 모형이다. 본 연구는 이산선택실험을 통해 4차 산업혁명 기술을 활용한 에너지효율 투자 활성화 관련 서비스를 도입하기 위해 의사결정을 해야 하는 상황을 가정했다.

〈표 3-5〉 이산선택실험 상황 가정

현재 귀하께서는 EMS를 사용하거나 도입 예정이십니다. 디지털 기술과 EMS를 활용하여 아래의 속성의 조합으로 효율향상 및 관련 서비스가 제공됩니다. 아래는 속성에 대한 설명과 각 속성의 수준을 설명한 표입니다. 1. 디지털 기술을 활용 EMS를 통한 에너지효율향상 투자를 위해서는 기존 기기 및 설비에 센서를 연결하거나, Wi-Fi 기능 등 통신 및 제어가 가능한 신규 기기 및 설비가 필요합니다. 2. 이렇게 구축된 시스템의 에너지 절감 등 최적화 구현 및 유지보수를 위해서는 에너지 관리방안이 필요하며, 그 방식에는 1) 자체인력 활용, 2) 외부 위탁 업체 활용, 3) 클라우드 기반 서비스 활용의 세 가지 방식이 있습니다. 3. EMS를 통하여 기기 및 설비를 제어하는 방식에는 사용자가 IoT를 활용하여 원격제어를 할 수 있는 기능 등을 포함하는 수동제어 방식과 빅데이터, 인공지능 등을 활용한 자동제어 방식 두 가지가 있습니다. 4. 디지털 기술을 활용한 EMS를 통한 에너지효율향상은 기존보다 강화된 계측 및 통신, 모니터링 및 분석·제어기능을 통하여 에너지효율이 개선될 것입니다.

자료: 저자작성

이후 디지털 기술을 활용한 에너지효율관리 서비스 관련 속성을 정의했다. 속성은 ① 수요관리 서비스 도입방식, ② 구축비용, ③ 에너지 절감률, ④ EMS 관리방식, ⑤ 제어방식, ⑥ 주요 신기능 등 여섯 가지로 구성하였다. 수요관리 서비스 도입방식의 경우 디지털 기술과 EMS 적용 에너지효율향상을 위한 투자방식을 의미하며, 속

성 수준은 “기존 기기 및 설비에 센서를 연결하는 방식”(기저 속성)과 “고효율 설비 교체 및 업그레이드” 두 수준으로 구성되었다. 구축비용 속성의 경우 기업 규모별 차이가 심하므로 현재 연간 에너지 지출비용 수준을 기준으로 하여 현재 연간 에너지 지출액의 40%부터 100%까지 20%씩 차등을 두어 4단계의 속성 수준을 구성했다. 에너지 절감률은 현재 연간 에너지 사용량을 기준으로 하여 신규 효율 관련 기기 및 서비스 도입 이후 예상되는 에너지 사용량 절감률을 10%, 15%, 20%로 구성했다. 구축비용과 에너지 절감률은 미국 에너지부(Department of Energy, DOE)에서 제시한 에너지효율 투자에 지출되는 비용과 효율 설비 구축 이후 기업의 에너지 절감률을 기반으로 속성 수준을 설정했다.[42] EMS 관리방식은 EMS 유지관리를 위한 방안으로 “자체 인력을 통한 관리”(기저 속성), “위탁업체를 통한 관리”, “클라우드 서비스를 통한 관리”의 세 단계로 설정했다. 위탁업체를 통한 관리는 기업의 시스템을 이용해 위탁업체를 통해 관리하는 것이고 클라우드 서비스를 통한 관리는 기업에서 IoT 등 센싱을 통해 발생하는 데이터를 클라우드 서비스를 통해 관리하고 이에 대한 분석을 클라우드 서비스 수준에서 수행하는 것을 의미한다. 제어방식 속성은 EMS를 통한 기기 및 설비 제어방식으로 “동제어방식”(기저 속성)과 “전체설비자동”의 두 단계 속성 수준으로 구성되었다. EMS에 포함되어야 할 주요 신기능으로는 “계측 및 통신문제 해결”(기저 속성), “모니터링 및 분석역량 강화”, “제어기능 강화”의 세 가지 속성 수준으로 구성되었다.

디지털 기술을 활용한 에너지효율 투자의 속성은 가상의 속성으

42) U.S. DEPARTMENT OF ENERGY(2015), “Barriers to Industrial Energy Efficiency”, p. 5.

로, 기존 EMS를 통해 제공하지 못했던 새로운 기술에 대한 속성으로 구성되었으며, 향후 에너지효율 투자와 관련하여 기업의 의사결정자와 에너지 관리자가 의사결정 시 직면할 정보를 IEA (2019)를 기반으로 하여 구성했다.

〈표 3-6〉 4차 산업혁명 기술을 활용한 에너지효율 투자 활성화 관련 속성수준

속성	설명 및 수준
수요관리 서비스 도입방식	4차 산업혁명 기술과 EMS 적용 에너지효율향상 투자 방식
	기존 기기 및 설비에 센서를 연결 고효율 설비 교체 및 업그레이드
구축비용	(현재 연간 에너지 지출비용 기준) 에너지효율 투자에 지출되는 초기 투자비용
	1. 현재 연간 에너지 지출금액의 40% 2. 현재 연간 에너지 지출금액의 60% 3. 현재 연간 에너지 지출금액의 80% 4. 현재 연간 에너지 지출금액의 100%
에너지 절감률	신규 효율관련 기기 및 서비스 도입 이후 예상되는 에너지 사용량 절감률
	연간 에너지 사용량의 10% 절감 연간 에너지 사용량의 15% 절감 연간 에너지 사용량의 20% 절감
EMS 관리방식	EMS 유지관리를 위한 방안
	자체 인력을 통한 관리 위탁 업체를 통한 관리 클라우드 서비스를 통한 관리
제어방식	EMS를 통한 기기 및 설비 제어방식
	수동제어 방식(IoT 등의 원격제어) 전체 설비 자동(인공지능)
주요 신기능	EMS에 포함되어야 할 주요 신기능
	계측 및 통신 문제 해결 2. 모니터링 및 분석역량 강화 3. 제어기능 강화

자료: 저자작성

위의 여섯 가지 속성과 각 속성별 속성수준을 반영하여 에너지 관리자에게 9개의 반복 설문을 통해 선택실험을 수행했으며, 실험설계의 영향을 최소화하기 위해 두 가지 종류의 서로 다른 질문지를 에너지 관리자에게 배부하여 응답받았다.

〈표 3-7〉 에너지효율 투자 선호 컨조인트 카드 예

에너지효율투자 선호유형 질문 01 (Type I)				
	유형 A	유형 B	유형 C	비선택
수요관리 서비스 도입방식	기존 설비에 센서 연결	기존 설비에 센서 연결	고효율 설비 교체 및 업그레이드	선호하는 유형 없음 (투자 안함)
구축비용	60%	40%	60%	
에너지 절감률	10% 절감	15% 절감	20% 절감	
EMS 관리방식	자체 인력 활용	위탁 업체 활용	클라우드 서비스	
제어방식	수동제어	수동제어	자동제어	
주요 신기능	계측 및 통신 문제 해결	모니터링 및 분석역량 강화	계측 및 통신 문제 해결	
② 1위 선호 유형 응답란 (하나에 ○표)	유형 A	유형 B	유형 C	비선택

자료: 저자작성

확률효용이론에 기반하여 소비자 n이 선택지 내의 대안 j로부터 얻는 간접효용은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$U_{nj} = V_{nj} + \epsilon_{nj} \quad (5)$$

여기서 U_{nj}는 응답자 n이 대안 j를 선택할 때 얻는 효용을 나타내는데, 이는 확정적 효용(V_{nj}, deterministic utility)과 확률적 효용(ϵ_{nj}, stochastic utility)으로 구분된다. 확정적 효용(V_{nj})은 응답자의 효용 중 설명 가능한 부분을 의미하고, 확률적 효용(ϵ_{nj})은 개별 응답자의 선호 특성과 같이 설명 불가능한 부분을 의미한다. 각 응답자는 여러 대안 중에서 가장 높은 효용을 주는 대안을 선택하며, 응답자 n이 대안 j를 선택할 확률은 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} P_{nj} &= \Pr(U_{nj} > U_{nk} \ \forall k \neq j) \\ &= \Pr(\epsilon_{nk} - \epsilon_{nj} < V_{nj} - V_{nk} \ \forall k \neq j) \end{aligned} \quad (6)$$

위 (6)식의 확률은 대안 j가 다른 모든 대안보다 높은 효용을 가지게 될 확률을 의미하고, 확률변수 ϵ_n에 대한 결합확률 분포 $f(\epsilon_n)$를 이용하면 다음 식 (7)과 같이 표현할 수 있다. 여기서 $I(\bullet)$는 지표함수(indicator function)를 의미하고, $f(\epsilon_n)$의 분포 형태는 연구자의 합리적 판단에 의해 결정된다.

$$\begin{aligned} P_{nj} &= \Pr(\epsilon_{nk} - \epsilon_{nj} < V_{nj} - V_{nk} \ \forall k \neq j) \\ &= \int_{\epsilon} I(\epsilon_{nk} - \epsilon_{nj} < V_{nj} - V_{nk} \ \forall k \neq j) f(\epsilon_n) d\epsilon_n \end{aligned} \quad (7)$$

이때 오차항 ϵ_{nj}의 분포가 각각 독립이며 동일한 type-I 극한분포

(Independently and identically distributed (i.i.d.) type I extreme value)를 가진다고 가정하면 식 (8)과 같이 표현할 수 있다.

$$\Pr[Y_n = j] = \frac{\exp(V_{nj})}{\sum_{k=1}^{J}\exp(V_{nk})}, \quad j = 1, \cdots, J \tag{8}$$

이와 같은 이산선택모형을 조건부로짓(Conditional Logit)모형 또는 다항로짓(Multinomial Logit)모형이라고 정의한다. 일반적으로 조건부로짓모형은 간단한 형태의 선택확률을 도출할 수 있다는 장점이 있지만 소비자의 이질성을 충분히 반영하기 어렵고 두 대안의 선택확률 비율이 관계없는 다른 대안의 속성 변화로부터 영향을 받지 않는다는 I.I.A(independent from irrelevant alternatives) 특성을 가진다.

이러한 한계점을 극복하기 위해 추정계수에 대한 분포를 가정하여 개인 선호의 이질성을 반영하는 혼합로짓모형(Mixed logit model)을 이용함으로써 IIA 가정을 완화할 수 있다. 혼합로짓모형은 속성의 한계효용(β)이 확률적분포를 가진다고 가정함으로써 개별 소비자의 선호에 대한 이질성(heterogeneity)을 반영할 수 있는 모형이다. 혼합로짓모형에서 계수 벡터인 β_n에 대해 다양한 분포 가정(정규분포, 로그 정규분포, 다변량 정규분포, 삼각분포 등)을 하지만, 일반적으로 모집단에 대해 평균 b와 분산 W를 가지는 다변량 정규분포를 따른다고 가정한다. 이에 따라, 응답자 n이 대안 j를 선택함으로써 얻는 효용은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$U_{nj} = V_{nj}(x_j) + \epsilon_{nj} = \beta_n' x_j + \epsilon_{nj}, \quad \beta_n \sim N(b, W) \quad (9)$$

β_n이 주어진 상황에서 응답자 n이 대안 j를 선택할 확률은 일반적인 다항로짓모형의 선택확률식과 동일하나 β_n 역시 추정해야 할 모수이므로 혼합로짓모형의 선택확률식은 다음과 같다.

$$L(y_n|b, W) = \int L(y_n|\beta_n)\Phi(\beta_n|b, W)d\beta_n \quad (10)$$

본 연구의 혼합로짓 추정방법은 Simulated Maximum Likelihood Estimation(SML)을 이용하여 추정하였으며 추정 후 개인의 선택에 따라 개인의 효용계수값을 도출하였다.

3.2. 에너지 관리자 선호 분석 결과

에너지효율 개선을 위한 디지털 기술 관련 에너지 관리자의 선호 분석 결과 신규 수요관리 서비스 도입방식에 있어 고효율 설비 교체 및 업그레이드보다 기존 설비에 센서 연결을 더 선호하는 것으로 나타났다(기저 대비 음의 효용, -1.379). 구축비용의 경우 예상한 대로 음의 효용이 도출되었다(-0.370). 에너지 절감률의 경우 절감률 증가에 따라 효용이 증가했지만, 계수가 유의하지 않게 도출되었다. EMS 관리방식의 경우 자체 인력 활용보다 위탁업체의 활용(3.615)이나 클라우드 서비스(1.948)를 통계적으로 유의하게 선호하지만, 클라우드 서비스보다 위탁업체의 활용을 더 선호한다. 제어방식의 경우 수동제어보다 자동제어(3.065)의 효용이 높게 도출되었다. 주요

신기능의 경우 모든 속성 수준이 통계적으로 유의하게 도출되지 않았다. 주요 신기능에 대해 충분히 설명했음에도 불구하고, 주요 신기능이 제공하는 기능이 가상 대안의 선택에 큰 영향을 주지 못했다.

〈표 3-8〉 4차 산업혁명 에너지 수요관리 기술 전문가 선호분석 결과

평균	변수	계수	표준오차	z
수요관리서비스 도입방식 (baseline: 기존 설비에 센서 연결)	고효율 설비 교체 및 업그레이드	-1.379 **	0.603	-2.290
구축비용 (단위:10%)		-0.370 ***	0.140	-2.640
에너지 절감률 (단위: %)		0.100	0.539	0.190
EMS 관리방식 (baseline: 자체인력활용)	위탁 업체 활용	3.615 ***	0.972	3.720
	클라우드 서비스	1.948 ***	0.646	3.020
제어방식 (baseline: 수동제어)	자동제어	3.065 ***	0.715	4.280
주요 신기능 (baseline: 계측 및 통신 문제 해결)	모니터링 및 분석역량 강화	0.241	0.495	0.490
	제어기능 강화	-0.114	0.419	-0.270
비선택 (nochoice)		-24.519 ***	6.785	-3.610
표준편차	**변수**	**계수**	**표준오차**	**z**
수요관리서비스 도입방식 (baseline: 기존 설비에 센서 연결)	고효율 설비 교체 및 업그레이드	1.895 ***	0.718	2.640
구축비용 (단위:10%)		0.979 ***	0.193	5.080
에너지 절감률 (단위: %)		1.306 **	0.580	2.250
EMS 관리방식 (baseline: 자체인력활용)	위탁 업체 활용	4.852 ***	1.367	3.550
	클라우드 서비스	2.722 ***	0.691	3.940
제어방식 (baseline: 수동제어)	자동제어	3.249 ***	0.778	4.180
주요 신기능 (baseline: 계측 및 통신 문제 해결)	모니터링 및 분석역량 강화	1.254 ***	0.470	2.670
	제어기능 강화	0.354	0.599	0.590
비선택 (nochoice)		30.091 ***	8.188	3.670

자료: 저자작성

수요관리 서비스의 선택에 있어 각 속성별 상대적 중요도는 EMS 관리방식, 제어방식, 구축비용, 수요관리 서비스 도입방식, 주요신기능, 에너지 절감률 순으로 높은 것으로 나타났다. 이는 수요관리 서비스의 도입에 있어 에너지 관리자는 에너지 절감률보다 에너지 관리의 편의성에 우선순위를 두고 의사결정을 한다는 것으로 해석할 수 있다. EMS 관리방식의 경우 가장 높은 수준의 상대적 중요도가 도출되었는데, 관리 주체(자체인력 활용, 위탁업체 활용, 클라우드 서비스 활용)가 누구인지에 따라 선택에 가장 큰 영향을 준다. 그 다음으로 상대적 중요도가 높은 것은 제어방식이다. 제어방식에 따라 인적자원의 효율화가 가능하기 때문에 선택에 주요한 영향을 준 것으로 판단된다. 반면 수요관리 서비스에서 가장 중요한 에너지 절감률의 경우 가장 낮은 우선순위가 도출되었는데, 이는 앞서 AHP에서 EMS 도입의 장애요인과 일치하는 결과로 해석할 수 있다. EMS 설치에 의한 에너지 절감 효과를 크게 기대하기 어려우므로 수요관리 서비스의 상대적 중요도에서 비교적 떨어지는 것으로 해석할 수 있다.

속성별 지불의사액의 경우 EMS 관리방식에 따라 위탁업체의 활용에 대해 연간 에너지 지출의 13.8%를 지출할 의사가 있고, 자동제어에 2.6%의 지불의사액을 가진다. 주요신기능의 경우 모니터링 및 분석역량 강화에 연간 에너지 지출의 3.9%, 제어기능 강화에 연간에너지 지출비용의 2.8%의 지불의사액을 가진다.

〈표 3-9〉 수요관리 서비스별 상대적 중요도

속성	상대적 중요도	순위
수요관리서비스 도입방식	10.9%	4
구축비용	17.5%	3
에너지 절감률	0.8%	6
EMS 관리방식	28.5%	1
제어방식	24.2%	2
주요 신기능	1.9%	5

자료: 저자작성

〈표 3-10〉 속성별 지불의사액

속성	속성수준	지불의사액 (연간에너지 지출비용 대비)
수요관리서비스 도입방식	고효율 설비 교체 및 업그레이드	-7.6%
에너지 절감률 (1% 당)		-3.5%
EMS 관리방식	위탁 업체 활용	13.8%
EMS 관리방식	클라우드 서비스	-0.6%
제어방식	자동제어	2.6%
주요 신기능	모니터링 및 분석 역량 강화	3.9%
주요 신기능	제어기능 강화	2.8%

자료: 저자작성

4. 소결

본 장에서는 두 가지 방법론을 활용하여 디지털 기술을 활용한 에너지효율 개선의 장애요인을 진단하고, 향후 예상되는 4차 산업혁명 관련 에너지 수요관리 서비스 도입에 대한 에너지 관리자의 선호와 지불의사액, 각 속성별 의사결정 중요도를 도출하였다.

국내 수요관리 서비스 산업의 해결해야 할 여러 장애 요인과 문제점분석, 4차 산업혁명 기술을 활용한 향후 에너지 수요관리 관련 소비자의 선호도 분석을 통하여 수요관리서비스의 개발방향과 정책에 참고하여 해결해 나갈 필요가 있다.

4.1. 장애요인과 극복방안

에너지 관리자를 대상으로 설문조사를 통하여 분석한 결과 투자비 회수의 장기화 문제 해결, 에너지효율 개선에 대한 인식 제고, 기초 인프라 확대, 높은 초기투자 비용 문제 해결, 교육 및 훈련을 통한 전문가 양성이 우선적으로 필요한 것으로 나타났다. 디지털 기술을 활용한 에너지효율 개선 투자를 위해서는 다양하고 복합적으로 작용하는 장애요인에 대한 비용효과적인 극복방안이 필요하다.

4.1.1. 경제적 장애요인 해결방안

경제적 장애요인을 해결하기 위해서 국내 EMS 현황을 구체적으로 살펴보면, 우리나라의 EMS 투자비 회수기간은 7~11년으로 외국보다 긴 편이어서 투자비 회수기간의 장기화 문제가 나타나고 있다.

〈표 3-11〉 규모별 EMS 구축비용과 예상 투자비 회수 기간

EMS 규모	평균 설치비용	평균 연간 절감 비용	평균 에너지 절감효과	예상 투자비 회수 기간
대규모	13억 원	1.7억 원	21.1%	약 10년
중규모	4.9억 원	0.6억 원	17.9%	약 11년
소규모	1.1억 원	0.2억 원	18.8 %	약 7년

자료: 건물에너지관리시스템(BEMS) 기반 에너지 운영관리 모델 개발(p.23) 참조 재구성, 한국에너지공단, 2017

플랫폼에서 제공하는 EMS 서비스를 통하여 EMS 설치에 필요한 초기 투자비용을 낮추고 투자비 회수기간을 단축할 수 있다. 또한, 국내 EMS는 기업 내 에너지관리에 한정하여 운영되고 있다. 플랫폼에서 제공하는 EMS 서비스와 연결하여 수요반응, 분산전원 서비스와 연계한다면, 투자비 회수기간을 단축하고, 에너지 관리를 통한 수입을 창출할 수 있다.

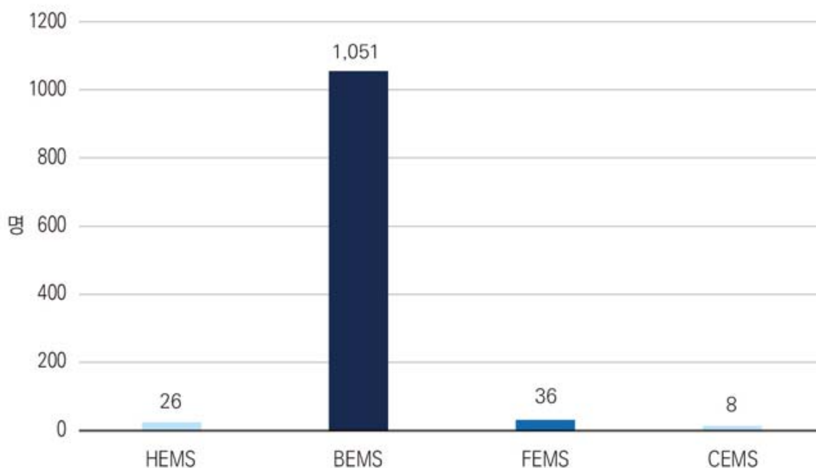
4.1.2. 정보, 기술, 기업 내부적 장애요인 해결방안

국내에서 에너지 관리 종사 인원은 매우 부족한 실정이다. 국내 305개 기업 전체 인원 중 에너지관리 업무 종사 인원은 2.1%(1,589명/74,025명)로 매우 낮은 상황이며[43], EMS의 에너지 관련 종사자도 빌딩 분야에 한정되어 있는 실정이다. 에너지 전문가에 대한 육성을 위한 관련기관의 설립과 정책이 필요하며, 에너지 관리에 대한 교육 및 훈련을 통하여 디지털 에너지효율 개선에 대한 인식 개선 및 정보 부족 문제를 해결할 수 있다. 전문성이 낮은 분야에 에너

43) 한국에너지공단(2017), p. 18.

지관리를 디지털화할 수 있다면, 숙련된 인력은 보다 전문성이 높은 분야의 고부가가치 활동에 참여할 수 있을 것이다. 디지털 기술을 활용하여 에너지 소비량에 대한 보다 정확하고 많은 양의 데이터를 수집하여 정보화할 수 있다면, 효율개선에 대한 식별과 함께 디지털 트윈기술을 활용하여 효율개선의 효과 및 영향을 예측하여 효율 개선의 기회가 늘어난다. 이를 통하여 기존 에너지관리시스템에서 제공하지 못한 에너지 서비스를 다양화하여 효율 개선에 대한 인식을 향상시킬 수 있다.

[그림 3-1] 국내 에너지관리 업무 종사 인원



자료: 한국에너지공단(2017), “건물에너지관리시스템(BEMS) 기반 에너지 운영관리 모델 개발” p.18을 참조하여 재구성

기술적 측면에서는 해당 분야 종사 인원, 전문인력의 부족과 수요관리서비스 기술 표준의 혼재, 대기업과 중소·중견기업 간 수요관

리서비스 기술 격차에 따른 성과 격차가 존재하고 있다는 것을 파악했다. 자동제어나 위탁관리, 우수 사례 벤치마킹을 통한 수요관리 서비스의 에너지비용 절감효과 증대 역시 국내 수요관리서비스가 해결해야 할 기술적 측면의 과제이다.

4.2. 디지털 기술혁신으로 인한 디지털 기술 활용 선호도

지금까지의 수요관리는 소비자 입장을 고려하지 않은 Top-down 방식의 수요관리서비스 접근으로, 이용률이 낮은 서비스들이 개발되어 불필요한 비용 상승을 초래했다.

빌딩과 산업 분야의 에너지 관리자를 대상으로 한 설문조사 분석 결과, 효율개선을 위한 디지털 기술의 발전방향은 자동제어기능 강화, 모니터링 및 분석기능 강화, 제어기능 강화, 에너지 관리의 전문가 위탁과 관련된 것으로 나타났다.

수요관리서비스는 빅데이터 기반 소비자 맞춤 서비스 제공과 다양화에 주력하여 국내 수요관리서비스 활성화를 꾀할 필요가 있다.

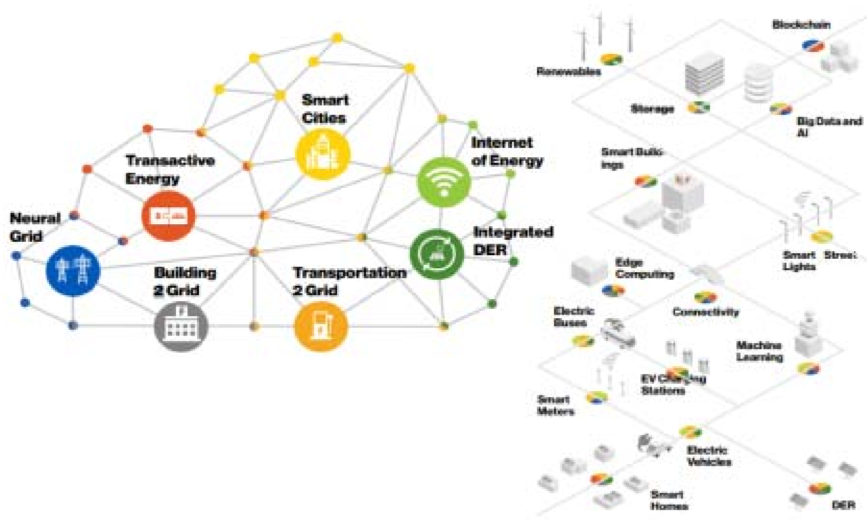
제4장 디지털 기반 통합 수요관리 플랫폼 구축방안

디지털화의 진전으로 플랫폼의 기본 개념은 기존 사전적 의미의 운송업체와 승객 간의 서비스 거래 공간에서 다양한 비즈니스 모델 구현과 활성화를 위한 사업자-고객의 만남의 장으로 확장되었다. 다양한 분야의 공급자와 수요자가 플랫폼을 통하여 서비스를 제공하고 제공받을 수 있다. 이러한 플랫폼의 주요 특징은 첫째, 플랫폼의 참여자 증가에 따른 편익이 증가하는 네트워크 효과, 둘째, 탐색비용, 거래비용 등을 최소화하는 경제성 제고, 셋째, 다양한 참여자를 통한 새로운 사업모델 창출이 용이한 확장성에 있다.[44]

에너지 분야에서도 다양한 플랫폼을 활용한 신산업이 등장하고 있다. 에너지 공급사는 효율적인 에너지 시스템 관리와 고객의 니즈만족을 위한 서비스를 위한 플랫폼으로 진화하고 있으며, 비에너지 회사는 IT기술 기반 및 인프라 제공, 타산업과의 연계 등에 초점을 맞추어 플랫폼 비즈니스를 수행 중이다. 최근 플랫폼을 기반으로 각종 에너지 자원을 관리하기 위해 많은 국가와 기업이 참여하면서 그 규모와 영역이 확대되고 있다. [그림 4-1]에서 볼 수 있듯이 에너지시스템이 복잡해지고, 4차 산업혁명 기술의 발달로 연결성이 강화되면서 에너지산업에 많은 새로운 수요관리 서비스가 등장할 것으로 예상된다. 대표적으로 분산자원 통합, 전기차-계통 연결, 건물-계통 연결, 에너지정보 플랫폼, 에너지 상거래, 스마트시티, 전력 신경망 등이 있다.

44) KEPCO 경제경영연구원(2017), “KEPCO 에너지 플랫폼 개념 정립 및 Biz Model 추진 전략” p.2, 4.

[그림 4-1] 4차 산업혁명 기술 기반 新전력계통 및 수요관리서비스



자료 : GuideHouse(2018), “Energy Cloud 4.0”, p.4.

빅데이터, 인공지능 등 디지털 기술의 발달, 디지털 뉴딜, 그린뉴딜 등의 에너지 분야 정책 변화, 태양광발전, 전기자동차의 수요 증가 등 분산자원의 발전을 통해 에너지 수요자는 이제 수동적인 수요자가 아닌 에너지를 직접 생산하고 판매하는 프로슈머로 변신하였으며, 지능형 수요반응 등 다양한 디지털 기술의 에너지 분야에의 활용과 에너지 서비스 모델의 변화가 진행 중이다.

에너지 분야에 디지털화를 촉진하기 위해서는 소비자인 에너지 프로슈머 중심의 에너지 시스템 개편이 필수적이며, 플랫폼을 통하여 변화하는 소비자에게 저비용 고품질의 가치를 제공하기 위한 다양한 에너지 서비스를 개발해야 한다. 이에 따라, 관련 에너지 서비스 등 에너지 신산업이 육성되고 발전할 수 있다.

디지털 분야에서 플랫폼은 크게 4개의 계층으로 구분된다. 플랫폼 참여자는 ‘User Group’ 계층에 포함된다. 플랫폼 참여자는 서비스 제공자, 중개자, 소비자로 구성된다. ‘User Group’에는 산업체, 통신 제공자, 제삼자(third party) 등이 속하는데, ‘User Group’ 내에서는 서비스 제공자가 중개자가 되기도 하며 동시에 소비자가 될 수도 있다.[45] ‘서비스’ 계층은 다양한 서비스를 포함한다. 서비스에 필요한 물리적 자원 및 통신, 인프라는 ‘물리적 자원’ 계층에 포함된다.

이러한 구조를 바탕으로 본 연구에서 제안하는 수요자원 지능형 통합관리 플랫폼의 계층별 구조도는 <표 4-1>에 나타나 있다. 서비스 제공자는 소비자의 니즈를 바탕으로 개별 수요관리 서비스를 포트폴리오로 구성하여 ‘Application’의 형태로 제공하고, 서비스 소비자는 개별 니즈에 맞는 수요관리 서비스를 플랫폼 내에서 “Plug-and-Play” 형태로 제공받을 수 있다.

〈표 4-1〉 지능형 수요자원 통합관리 플랫폼 계층과 구성요소

계층	구성요소
참여자(User Group)	소비자, 중개자, 생산자 등
서비스	수요예측, 고장진단, 실시간 모니터링, ESS 스케쥴링, PV설비제어, HVAC 제어 등
Application	BEMS, FEMS, 분산자원 시장연계, DR참여 등
물리적 자원	VPP, 태양광, 전기차, ESS, 건물, 공장 등

자료 : 저자작성

45) Deloitte(2019), p.3

본 연구에서는 디지털 기술을 활용한 에너지효율 개선과 수요관리 확대를 위해 지능형 수요관리 통합 플랫폼 구축의 필요성을 제언한다. 지능형 수요관리 통합 플랫폼은 EaaS(Energy-as-a-Service)의 모든 서비스 기능을 통합할 수 있게 해준다. 개방성과 오픈성을 가진 공유 플랫폼은 에너지효율, 수요반응, 분산자원 관리에 관한 서비스 공급업체가 다양한 에너지 솔루션을 제공할 수 있게 하며 소비자가 원하는 형태의 수요관리를 가능하게 해준다. 소비자는 원하는 서비스를 상대적으로 낮은 투자비와 서비스 비용을 지불하고 언제 어디서나 제공받을 수 있고 소비자가 원하는 대로 서비스를 설정할 수 있다.

1. 지능형 수요자원 통합관리 플랫폼의 필요성

디지털화는 1차에너지 생산부터 말단 고객까지 에너지산업 내 가치사슬 모든 분야에 적용될 수 있다. 에너지 디지털화의 가장 큰 잠재력은 에너지 부문 간 경계를 허물어 유연성을 높이며 전체 시스템 통합을 가능하게 하는 것이다. 특히, 전력 부문은 이러한 변화의 중심에 있다. 시스템의 디지털화와 동시에 분산전원의 성장, 수요자와 공급자 간의 경계를 없애 실시간으로 수요와 공급의 균형을 맞추며 소비자가 직접 상호작용할 기회를 제공한다. 마이크로그리드에 참여하거나 블록체인을 통해 에너지를 거래하여 프로슈머로서 에너지시장에 참여한다. 이때 기업들은 에너지 플랫폼을 기반으로 서비스 개선이 가능하며 더 나아가 플랫폼 사용료, 중개서비스 수수료 등의 소비자 중심 비즈니스 모델을 개발하여 새로운 수익창출이 가능하다.[46] 이에 에너지 산업의 디지털화를 통해 '효율성 개선', '신

규성 발견', '평가 및 정보제공' 측면에서 에너지효율 생태계가 성장할 것으로 기대되며, 지능형 수요자원 통합관리 플랫폼은 위에 언급한 세 가지 측면에서 수요자원 통합관리의 근간이 될 수 있다.

먼저 효율성 개선 측면에서 수요자원 통합관리 플랫폼이 갖는 의의는 다음과 같다. 첫째, 플랫폼을 통해 데이터 수집부터 저장 및 가공에 이르는 프로세스의 효율성을 제고할 수 있다. IoT 기술 기반의 각종 센서와 네트워크 기술 등을 통하여 실시간으로 에너지 데이터를 수집하므로 양적으로 풍부하고 질적으로 보다 더 정확한 데이터를 확보하고, 클라우드 컴퓨팅 기술은 수집된 대용량 정보를 효율적으로 저장하고 분석 가능한 형태로 처리하는 서비스를 제공한다. 둘째, 자산 및 설비의 디지털화를 통해 운영 최적화를 통한 비용 절감 효과를 얻을 수 있다. 부착 센서와 통신 네트워크를 활용하여 물리적 자산을 가상화, 디지털화하여 실시간 운영 정보를 제공받아 설비 개선에 활용하고 운영 효율화를 달성할 수 있다. 셋째, 시스템 자동화를 통해 운영을 최적하고 편리성을 크게 높일 수 있다. 기존의 수요관리 서비스가 단순한 에너지 모니터링 차원이었다면, 기술기반 플랫폼을 통해 시스템의 제어 및 운영을 자동화하여 ESS, HVAC 등 동적 자원을 활용한 운영 최적화와 비용절감이 이루어지고 관리적 측면에서 편리성이 향상된다.

다음으로 신규성 발견 측면에서 수요자원 통합관리 플랫폼이 갖는 의의는 다음과 같다. 서비스 공급자는 플랫폼의 단일 데이터로부터 데이터 애널리틱스(Data analytics)를 통해 기존에 없던 다양한 서비스를 비즈니스 모델로 발굴할 수 있다. 플랫폼에 참여하는 전력회사와 비전

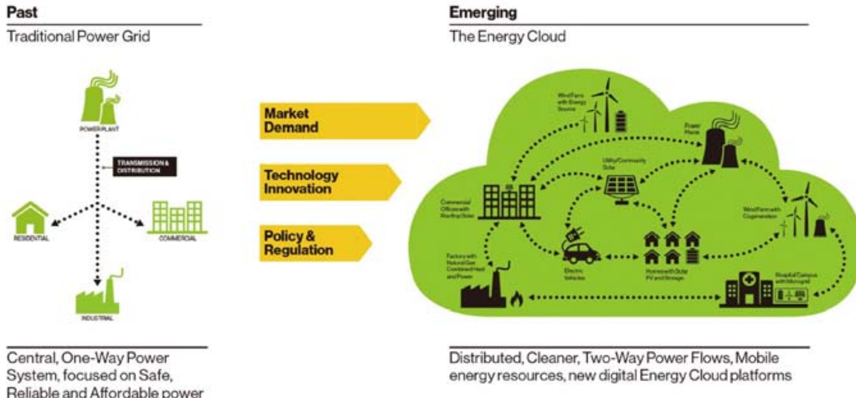
46) 삼성KPMG 경제연구원(2019), "에너지 산업의 디지털화가 가져올 미래", p. 4,5,8,16

력회사(플랫폼 전문 기업), IT·통신사, 그리고 서비스 소비자를 대상으로 B2B(산업용) 서비스, B2T(지자체) 서비스, 에너지 솔루션 등 다양한 형태의 신(新) 비즈니스 모델로의 확장이 용이해진다. 수요자원 통합관리 플랫폼은 전통적인 에너지 소비자가 에너지 프로슈머로 전환되면서 필연적으로 등장하게 되는 새로운 시장으로 역할을 하게 된다.

플랫폼은 전통적인 파이프라인 형태의 시장과 달리, 참여자 간의 연결성이 강화된 네트워크 구조이다. 플랫폼은 수요관리 서비스의 무한한 잠재적인 고객 pool이 되며 다양한 참여자로 구성되므로 서비스 고객의 범위 확장이 용이하다. 또한, 플랫폼은 새로운 서비스를 공급하기 위한 인프라를 제공하여 신(新) 서비스 공급 및 확장을 용이하게 한다. '서비스로서의 플랫폼'(Platform-as-a-Service, PaaS)은 'Application 인프라'를 제공하는 클라우드 개념으로[47], 서비스 공급자가 Application 개발과 공급의 장벽을 낮추기 위해서는 PaaS와 같은 인프라가 구축되어야 한다. 서비스 공급자가 새로운 Application을 개발한 뒤 기구축된 플랫폼의 인프라를 활용한다면 기존 파이프라인 형태의 서비스 공급 방식보다 비용 효율적이다. 서비스 소비자 입장에서는 다양한 개별 수요관리 서비스를 포트폴리오로 구성한 Application 형태로 제공받는 니즈를 플랫폼을 통해 충족시킬 수 있다. 개별 서비스의 공급·유통 경로가 다를 경우 추가적인 탐색 비용과 거래 비용이 발생하는데(한전경제경영연구원, 2017, p. 1) 플랫폼을 통해 여러 수요관리 서비스를 "Plug-and-Play" 방식으로 공급받을 경우, 서비스 소비자 입장에서 서비스를 비용 효율적으로 제공받을 수 있다.

47) Gartner: https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/platform-as-a-service-paas, 최종 검색일 2020.10.28.

[그림 4-2] 기존 그리드 기술 기반 수요관리 플랫폼으로의 전환



자료 : Guidehouse(2018), “Energy Cloud 4.0”, p. 8.

[그림 4-2]에서 보듯이 현재의 그리드는 단방향, 중앙 집중 방식으로 전력과 에너지 정보를 전달한다. 반면 플랫폼은 수요반응자원 등 분산자원과 소비자의 양방향통신을 통해 에너지 소비량 등의 정보 교환이 가능한 구조이다. 이를 통하여 연결성이 강화되어 그리드의 유연성이 커지고 다른 플랫폼과의 연계를 통해 확장성이 강화된다.

마지막으로, 개별기기 단위의 프로파일링과 소비 데이터, 더 나아가 시스템, 지역 단위의 에너지 수요 데이터를 통하여 정책의 검증과 성과 평가에 활용할 수 있다. 플랫폼 운영을 통해 수집된 경제성 등에 대한 자료를 토대로 벤치마킹에 필요한 자료 제공이 가능하다. 또한, 국가 에너지계획 수립 시 검증된 자료와 통계를 기초자료로 활용할 수 있다.

2. 지능형 수요자원 통합관리 플랫폼의 기술 환경

수요관리 플랫폼 참여자들이 플랫폼을 통해 수요관리 서비스를 제공하고 소비하기 위해서는 개별 수요관리 서비스마다 요구되는 '기술 환경'이 갖추어져야 한다. 앞서 1차 연도와 2차 연도 연구에서 기술한, 4차 산업혁명 핵심 기술에는 인공지능, 사물인터넷(IoT), 클라우드, 빅데이터, 모바일 등이 있으며, 4차 산업혁명 주변 기술에는 블록체인, 3D 프린팅, 증강/가상현실(AR/VR) 등이 있다.

개별 수요관리 서비스를 개발하고 플랫폼에서 제공하기 위해, 다음 네 가지 측면의 기술환경이 융·복합적으로 갖추어져야 한다. 네 가지 기술환경은 ① IT 인프라(IoT, 통신 기술), ② 데이터 기술(빅데이터, 클라우드), ③ 실행 기술(AR/VR, 로보틱스, 디지털 트윈), ④ 분석 기술(인공지능)을 말한다. 개별 수요관리 서비스별로 요구되는 기술환경은 다음 [그림 4-3]에 나타나 있다.

[그림 4-3] 개별 수요관리 서비스별 요구 기술 환경

에너지 산업의 디지털 생태계

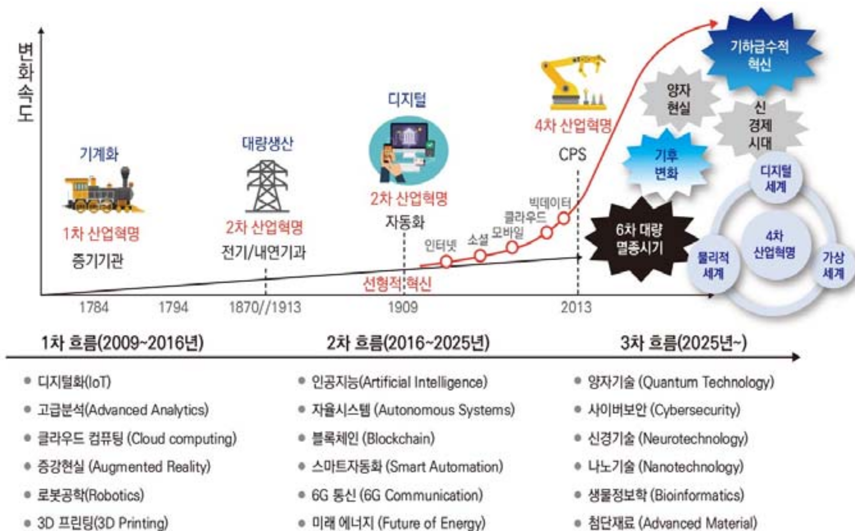
구분	발전 부문	거래 부문	송배전 부문	소매 부문	소비 부문
빅데이터, IoT, 클라우드, A	예방적 유지보수, 에너지 저장	거래 최적화	그리드 자동화, 스마트 미터& 데이터 관리	요금 최적화	능동적인 에너지 관리, 스마트 수요 반응
연결성과 통합성	재생에너지 통합, 가상발전소		그리드 최적화		
사이버 보안	에너지 사이버 보안				
신규 비즈니스 모델	분산 전원, P2P 모델	거래 자동화	마이크로그리드	실시간 요금제, 전력 이동성	연결된 가정 & 일터
소비자 참여				C&I 에너지 소비	스마트홈 HEMS

자료 : 삼성KPMG 경제연구원(2019), "에너지 산업의 디지털화가 가져올 미래", p. 4.

위 네 가지 측면의 기술 환경을 구축하고 기술 활용을 위해서는 H/W, S/W 단계에서의 제반 요건을 갖추는 것이 필요하다.

지능형 통합관리 플랫폼은 [그림 4-4]와 같이 점점 더 많은 4차 산업혁명 기술의 발달과 도입을 통하여 다양한 에너지 솔루션 제공이 가능하고 다양한 비즈니스 모델이 생겨날 것이다.

[그림 4-4] 4차 산업혁명과 기술의 발전



자료 : Henrik von Scheel Industry 4.0 originator, http://von-scheel.com/industry40/ (최종 접속일: 2020.10.07).

2.1. IT 인프라

4차 산업혁명 관련 지능형 수요자원 통합관리 서비스 구축을 위해 가장 선행되어야 할 점은 에너지와 관련된 다양한 데이터를 한데 모아 활용할 수 있는 데이터 수집체계의 구축이다. 스마트계량

기(Advanced Metering Infrastructure, AMI)의 보급 확대와 같은 거시적 수준의 데이터 수집만으로 수요관리 서비스의 질적 수준 향상을 기대하기 힘들다. 수요관리 서비스의 질적 향상을 위해서는 에너지원별(전기, 가스 등 네트워크 에너지) 스마트 미터링 및 기기 활용 기반의 IoT 마이크로 미터링 데이터 수집, 에너지 사용주체의 행동 데이터, 경제, 기상 등의 외생 데이터의 유기적 활용이 필요하다.

여러 데이터를 결합하여 활용하기 위해서는 먼저 분산데이터 수집과 관련된 표준이 필요하다. 예컨대 비즈니스 및 회계분야는 국제 보고 표준을 만들기 위해 XBRL(eXtensive Business Reporting Language)[48]이라는 국제표준언어를 만들었다. XBRL은 무료로 사용 가능하고, 시장 중심으로 개발되었다. 감사 대상 기업(Corporation)과 감사자(Auditor)들은 비즈니스 보고서에 필요로 하는 재무정보 디지털화의 표준이 되었다. 한국 정부 또한 공공데이터 개방 확대와 품질 개선을 위해 데이터 표준을 고시하고(행정안전부 고시 제2019-20호, 2019.3.20.), 공공데이터의 활용도를 높였다. 데이터 표준화를 통해 시스템별로 분산되어있는 데이터의 명칭, 정의, 규칙 등을 수립하여 완결성 있는 데이터를 수집하고 활용할 수 있다. 표준화되지 않은 데이터는 향후 결합하여 활용하는 데 어려움을 겪을 것이다.

미국의 그린버튼 제도가 성공적으로 도입되었던 배경에도 표준화된 데이터가 큰 역할을 했다. 그린버튼의 데이터 표준인 Connect My Data 표준은 전력, 천연가스, 상수도 사용 데이터를 모두 동일한 포맷으로 제공하여 서비스 제공의 효율성을 개선시켰다.[49]

NAESB(North American Energy Standards Board)에서 발표한

48) XBRL, https://www.xbrl.org/ (최종접속일: 2020.10.07.)
49) 미에너지부 그린버튼, https://www.energy.gov/data/green-button(최종접속일 : 2020.10.09.)

ESPI(Energy Services Provider Interface) 데이터 표준을 따르며 이는 공통 XML(Extensible Markup Language) 형식으로 구성되어 있다. 통합된 표준을 사용하게 될 경우 매우 세밀한 데이터와 복잡한 데이터 구조도 간소화할 수 있으며 무엇보다 소비자의 정보를 완전하게 보호할 수 있는 이점을 갖고 있다.

[그림 4-5] 그린버튼 데이터 샘플

자료 : 그린버튼, www.greenbuttonalliance.org (최종접속일 : 2020.10.09.)

소비자들은 그린 버튼에 가입한 전력회사의 웹사이트나 어플리케이션을 통해 자신의 표준화된 전력 사용량 데이터를 확인하고 에너지 절약 정보로 활용할 수 있다. 에너지 회사와 유틸리티 기업은 그린버튼 플랫폼을 통해 수집한 개별 전력 데이터를 소비자 동의하에 제공받아 이를 분석한 후, 소비자에게 맞춤형 솔루션을 제공할

수 있다. 이 제도를 통해 미국 전력시장은 소비자의 개인정보 보호 및 데이터의 안전한 전송을 보장하고, 표준화된 데이터 수집 형식으로 데이터의 일관성과 정확성을 확보하였다.

2.2. 데이터 기술

수많은 물리적 자원으로부터 수집된 빅데이터가 실용적으로 사용되도록 여러 데이터 기술이 접목되고 있다. 빅데이터를 다른 빅데이터와 결합하여 유용한 데이터를 생성하기 위해서는 효율적인 데이터 처리기술, 확장성 및 높은 수준의 보안을 우선적으로 확보할 필요가 있다.

2.2.1. 엣지 컴퓨팅(Edge Computing) 기반 빅데이터 처리

기초데이터(Raw Data)를 단순집계하여 서버에서 분석을 수행할 경우, 방대한 데이터가 전송되어 분석하는 데 큰 부담이 된다. 한 가정에서 15분 단위 전력 데이터를 수집한다면 하루에 96개의 데이터가 수집된다. 2020년 5월 기준 국내에 보급된 스마트 미터 기기의 수는 약 975만 개이므로 하루에 처리해야 할 총 데이터 양은 약 9.4억 개다.[50] 데이터의 양도 문제지만, 해당 자료를 전송하기 위한 대역폭도 큰 문제로 대두된다. 그러므로 단순히 AMI의 보급 확대뿐만 아니라 AMI의 질적, 기술적 향상도 함께 이루어져야 한다.

빅데이터 기반 수요자원 서비스는 엣지컴퓨팅을 기반으로 자리

50) 2020년 AMI 보급률 43.3%적용, 출처: 한전, 817억원 들여 보급한 'AMI' 122만대나 리콜, http://www.ikld.kr/news/articleView.html?idxno=224621 (최종접속일: 2020년 10월 15일)

잡을 것이다. 데이터센터에서 정보를 처리하기 어려울 정도로 방대한 데이터가 발생하는 경우, 수집된 기초데이터를 바로 데이터센터에 전송하지 않고 말단부(Edge)에서 정보를 1차적으로 가공하여 전송한다면 데이터센터와의 통신과 데이터 연산의 부담을 줄일 수 있다. 부하 데이터를 직접 수집하기보다 NILM(Non-Intrusive Appliances Load Monitoring)[51)]과 같은 기술을 이용해 기기 및 에너지 사용에 대한 메타데이터(Metadata)를 생성할 수 있다. 기기 사용 시점, 시간, 사용 환경, 사용 용량 등을 요약한 메타데이터를 활용하면 미터링 데이터보다 처리하기 쉽고, 요약된(Compact) 정보를 전달할 수 있으며, 기계가 읽고 이해할 수 있는 형태(Machine Readable & Actionable)의 데이터를 생성해 M2M(Machine-to-Machine)을 본격적으로 활용할 수 있을 것이다.

또한, 말단부에서 필요한 전처리를 수행하고, 즉각적으로 필요한 데이터는 미리 처리하고, 요약정보를 데이터 센터로 전송하기 때문에 개인정보 보호와 같은 문제를 어느 정도 해결할 수 있다.

51) NILM(Non-Intrusive Appliances Load Monitoring)은 개별기기에 계측장비(Metering)를 설치하지 않고도 기기 작동 및 에너지 사용을 식별할 수 있는 방식이다(유병구, 권선욱, 한세경, 2014, p. 1,864).

[그림 4-6] 엣지 컴퓨팅 개요

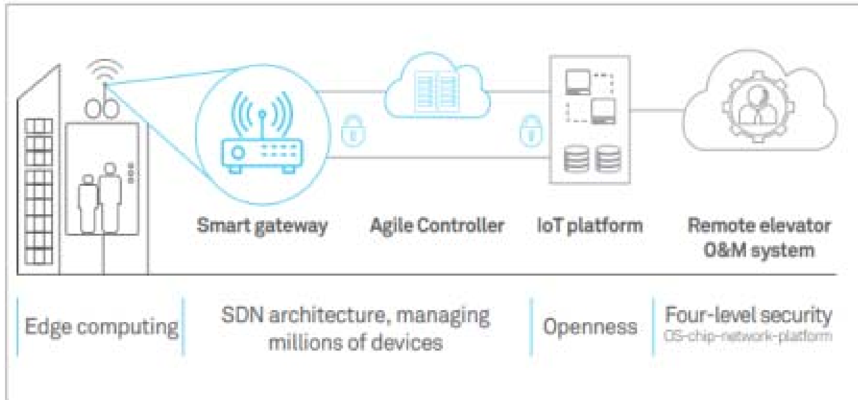


자료 : Ron Lowman, https://www.synopsys.com/designware-ip/technical-bulletin/ai-edge-computing-5g-iot.html, 최종접속일 : 2020.11.02

[그림 4-6]에서 보는 바와 같이, 엘리베이터에 엣지 컴퓨팅을 기반으로 한 스마트 게이트웨이가 설치되어 운영데이터를 실시간으로 수집하고 전처리한다. 이 엘리베이터는 클라우드 기반 빅데이터 분석 플랫폼과 연동되어 부품들 의 상태를 모니터링하고 예방정비를 더욱 효율적으로 실시할 수 있도록 한다.52)

52) Edge Computing Consortium and Alliance of Industrial Internet(2017), “Edge Computing Reference Architecture 2.0”, p. 43

[그림 4-7] 엣지 컴퓨팅을 활용한 엘리베이터 접속성 개선



자료 : Edge Computing Consortium and Alliance of Industrial Internet(2017), "Edge Computing Reference Architecture 2.0", p. 43.

2.2.2. 클라우드 컴퓨팅(Cloud Computing) 기반 확장성 및 보안성 증대

클라우드 컴퓨팅이란 전산설비를 구축하지 않고 인터넷을 통해 필요한 IT 자원을 탄력적으로 사용하는 컴퓨팅 환경을 뜻한다. 서로 다른 물리적 위치에 존재하는 컴퓨팅 자원을 가상화 기술로 통합하여 제공한다. IT 자원을 필요한 만큼 사용하고 그에 상응하는 비용을 지불하는 방식으로 초기 투자비용을 대폭 낮출 수 있는 기술로 클라우드 컴퓨팅 기술이 주목받고 있다.[53)]

클라우드 컴퓨팅 기반 확장성 증대 사례로, 독일의 보험금융 기업인 Allianz는 클라우드 전환으로 디지털 기반의 보험사로 변모했다. 다양한 오픈 소스와 안정적 IT 환경을 기반으로 수개월의 개발 작업을 12주로 단축하여 반려동물 헬스케어 플랫폼을 개발했다. 또

53) 삼정KPMG 경제연구원(2020), p. 4.

한, 자회사인 AGA(Allianz Global Assistance)는 기존 MIDAS라는 중앙 시스템을 통해 데이터 및 상황 관리를 자체적으로 진행하다가, 구글 클라우드를 도입하여 [그림 4-8]에서 보는 바와 같이 각종 서비스를 대폭 개선할 수 있었다.[54)]

[그림 4-8] 클라우드 도입을 통한 비즈니스 개선



자료 : 삼정KPMG 경제연구원(2020), “구름 위의 혁신: 금융권을 중심으로 본 클라우드 활용”, p. 20.

또한, 미국의 금융기술 스타트업인 RobinHood는 모바일 기반 주식거래 서비스를 제공하여 성장했다. 자본력이 부족한 스타트업 특성상 자체적으로 높은 수준의 보안을 확보하는 것은 어려웠는데, 클라우드 기반 비즈니스 시스템을 채택하여 시스템 구축 시간을 단축함과 동시에 미국 금융 산업 규제기구의 승인을 획득할 수 있었다. 이는 클라우드 내에서 데이터 암호화와 동시에 금융사기 실시간 탐지 및 규제 준수 솔루션을 제공함으로써 가능했다. 현재까지 클라우드를 기반으로

54) 삼정KPMG 경제연구원(2020), p. 20.

높은 수준의 보안과 더불어 뛰어난 확장성까지 확보한 회사이다.55)

에너지산업의 성공적인 디지털화를 위해서는 인프라 보안, 데이터 보전, 임계시간 준수가 확보되어야 한다. 전력망을 비롯한 물리적 자원들의 기밀성이 유지된다면 계통운영자부터 말단 사용자까지 안전한 에너지 소비구조를 구축할 수 있다. 데이터 보전이란 데이터의 신뢰도, 정확도, 일관성이 확보되는 것을 뜻한다. 데이터 보전은 유출과 복제로부터 보호하고 데이터를 보증하여 그 활용도를 높인다. 마지막으로 임계시간 준수란 프라이버시 보호 수준이 연속적인 운영과 함께 실시간으로 이루어져야 함을 뜻한다.56) 클라우드 컴퓨팅은 앞서 언급한 세 가지 측면의 요소를 충족시켜 에너지 산업의 성공적 디지털화를 이끌 수 있는 핵심기술 중 하나이다.

[그림 4-9] 클라우드를 활용한 Security Framework



자료 : Feng Qiu(2018), “A Resilient and Trustworthy Cloud and Outsourcing Security Framework for Power Grid Applications”, p. 14.

55) 삼정KPMG 경제연구원(2020), p. 22.
56) Feng Qiu(2018), “A Resilient and Trustworthy Cloud and Outsourcing Security Framework for Power Grid Applications”, p. 5.

에너지 데이터 공유 과정에서의 보안기술 미비는 대기업들의 에너지 플랫폼 참여를 꺼리게 한다. 중앙시스템과의 연동으로 원격제어 및 자동제어를 통한 최적화를 실시할 때, 해킹과 같은 사이버위협으로부터 보안이 확보되지 않는다면 에너지 산업을 비롯한 많은 산업에 막대한 피해가 발생할 수 있기 때문이다. 또한, 높은 보안수준을 위한 비용은 중소기업에게 부담이 된다. 클라우드 컴퓨팅 기반 비즈니스 운영을 통해 비용효율적인 보안을 제공하여 에너지 플랫폼의 활성화를 도모할 필요가 있다.

2.3. 실행기술

시뮬레이션 기술은 물체나 시스템의 변화가 에너지 사용에 어떤 영향을 미치는지 모델링한다.[57] 빌딩을 예로 들면, 빌딩 정보 모델링 소프트웨어(Building Information Modelling; BIM)는 빌딩의 구조, 시스템, 사용률 등을 기반으로 에너지 수요를 추정할 수 있다. BIM 소프트웨어의 발전은 컴퓨터 보조 열 해석의 신뢰성을 증가시켰고, 건물의 예상 에너지 성능과 실제 에너지 성능 사이의 격차를 줄였다.

마찬가지로 산업 시설과 건물에서는 "디지털 트윈" 즉, 생산 공정 내 장치의 디지털 복제품을 사용하여 설계의 변경이 에너지 사용량에 얼마나 영향을 미치는지를 시뮬레이션하고 최적화할 수 있다.

디지털 트윈은 교통 시스템이나 심지어 도시와 같은 거대한 시스템 수준의 효율성 예측을 위해 사용될 수 있다. 시뮬레이션은 어떤 유용한 자료를 얻기 위해 해당 자료와 전혀 관련이 없어 보이는 자

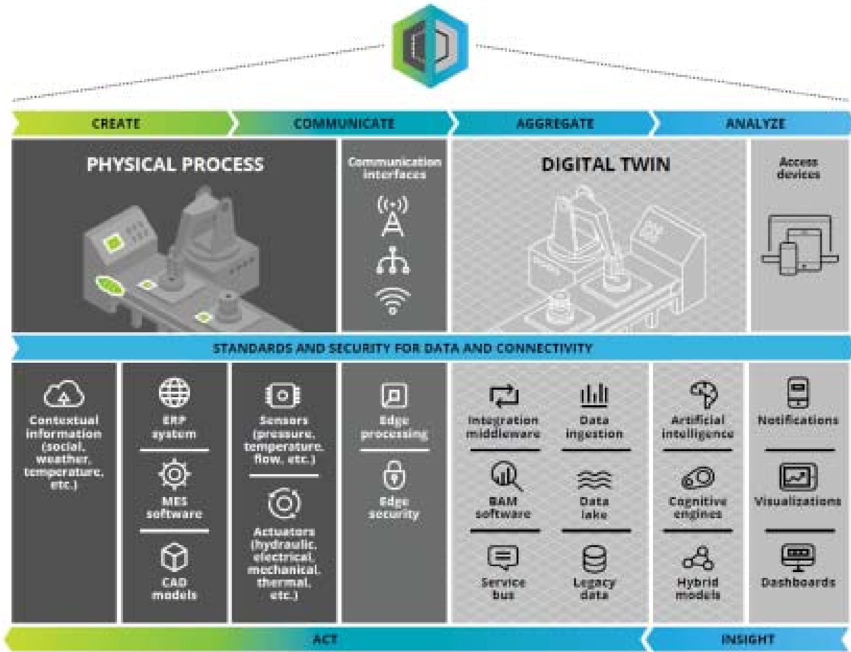
57) 본 절은 IEA(2019), p. 81.의 내용을 요약하여 정리한다.

료들을 분석하기도 한다. 예를 들어, ‘Teralytics’는 대중교통을 이용자의 요구에 맞게 조정하고, 교통 패턴을 기반으로 하는 인프라 개발을 계획하고, 공유 차량 서비스를 최적화하는 등의 교통 문제를 해결할 목적으로 통신업계가 수집한 데이터를 이용하고 있다. 이러한 데이터는 도시 전체에 센서를 배치할 필요 없이 대기질을 관측하는 데도 이용할 수 있다.[58] 이러한 시뮬레이션은 전력 산업에서 실제로 실험을 위해 물리적인 발전소를 건설해 가동하는 것과 같은 비용을 절약할 수 있으므로 기술개발을 촉진할 수 있다. 특히 산업적 측면에서 막대한 자원이 필요할 뿐만 아니라 실험 중단에 소요되는 시간도 막대해, 디지털 트윈을 활용하면 비용 측면과 더불어 시간 측면에서 효율적인 실험이 가능하다.[59]

예를 들어, 화학제품 제조업체들은 시뮬레이션 및 최적화를 통해 발포 폴리스티렌 생산을 위한 배치 시간을 30%까지 줄일 수 있었다. 디지털 트윈 기술을 활용하여 에너지 절약을 이루는 동시에 생산 시간과 비용까지 절감할 수 있었다(World Economic Forum, 2017).

58) TERALYTICS, https://www.teralytics.net/ (최종접속일: 2019.10.5.).
59) IEA(2017), p. 55.

[그림 4-10] 디지털 트윈 개념 모식도



자료 : Deloitte(2017), “Industry 4.0 and the digital twin”, p. 8.

2.4. 분석 기술

인공지능(Artificial Intelligence; AI) 기술과 AI 칩 또한 수요관리 서비스에 적용할 수 있는 기술이다. 인공지능은 인간의 지능과 유사한 특성을 가진 컴퓨터를 의미한다. AI를 구현하는 구체적 방식을 머신러닝(Machine Lerning; ML)이라 한다. 주어진 데이터와 그에 대한 해답을 학습하여 다른 데이터를 분류, 예측하는 방식으로, 주로 이미지 인식과 같은 분야에서 쓰인다. 주어지는 데이터가 매우

방대해 인식률과 정확도를 상용화할 수 있을 정도로 끌어올린 것을 딥러닝(Deep Learning)이라 한다.

[그림 4-11] 딥 러닝의 두 가지 순서



자료 : 손재호(2019), “AI 칩을 향한 무한경쟁, 시작되다”, p. 4.

AI는 다양한 영역에서 이용되고 있다. 얼굴 인식, 이미지 인식부터 혈액의 암세포 식별, MRI 스캔에서의 종양 식별 등 전문적인 영역까지 매우 광범위하게 개발되어 이용되고 있다. 그리고 최근 에너지 시장에서는 에너지 효율화에 AI를 이용하는 기술이 개발되고 있다. AI는 개별 부하, 건물, 전체 계통 시스템까지 다양한 규모에 적용될 수 있다.

일례로, 스마트 자동온도조절기는 건물 위치와 계절, 날씨 등의 요소를 고려해 에어컨 및 난방기를 최적화하여 운영하는 AI 알고리즘을 포함한다.60) 구글은 자사에서 개발한 ‘Deep Mind’를 통해 데

60) IEA(2019), p. 81.

이터 센터의 에너지 소비를 최적화하여 냉방기 부하를 40%가량 절약했다.61) Leanheat는 실내 센서, 날씨뿐만 아니라 지역 내 존재하는 열까지 측정하여 피크부하를 20% 가까이 줄일 수 있었다.62) Lyons(2019)는 이러한 냉난방 시스템이 서로의 정보를 교환하여 더 많은 데이터를 축적, 학습함으로써 시간이 지남에 따라 효율이 더 높아질 것이라고 밝혔다.

3. 지능형 수요자원 통합관리 플랫폼 구성요소

3.1. 주요 이해관계자

플랫폼은 생산자와 소비자를 하나로 모아 비즈니스가 창출되는 가상의 공간으로 플랫폼 시장의 기반과 규칙을 제공한다. 지능형 수요자원 통합관리 플랫폼의 주요 이해관계자는 [그림 4-12]처럼 대표적으로 수요자, 공급자, 중개자로 나누어진다.

수요자는 플랫폼을 통해 필요한 에너지 정보를 얻고 에너지효율을 극대화하기 위한 최적의 에너지 솔루션을 찾는다. 이러한 수요자를 대상으로, 공급자는 현재 보유하고 있는 에너지 관련 아이디어나 솔루션을 제공하고 수요자에게 비용을 받아 이익을 얻는다. 중개자는 수요자와 공급자가 플랫폼 내에서 원활하게 활동할 수 있도록 플랫폼을 업데이트하고 다양한 서비스를 도입하여 제공한다.

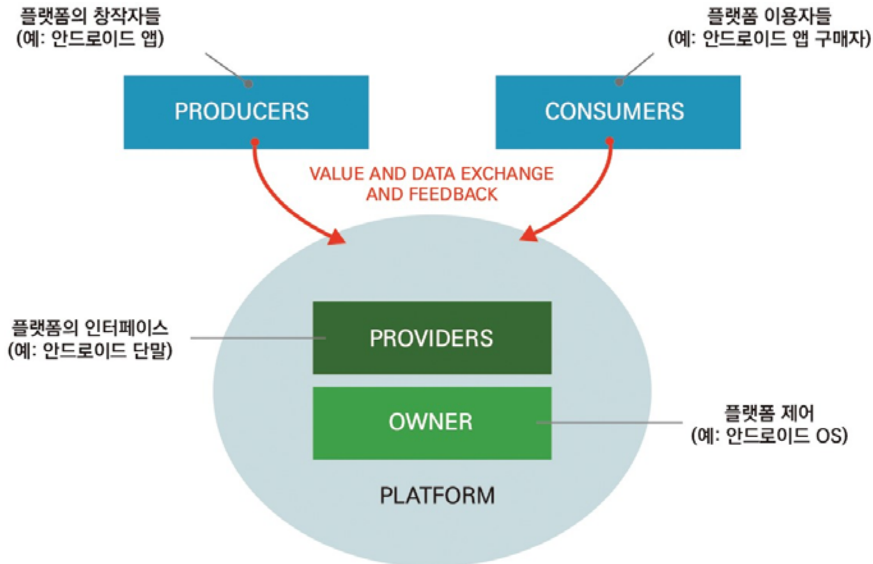
프로슈머의 등장으로, 에너지 분야에서 플랫폼 참여자 간의 경계는 흐려지는 추세이다. 에너지를 소비하는 동시에 소규모 태양광

61) DeepMind, https://deepmind.com/blog/deepmind-ai-reduces-google-data-centre-cooling-bill-40/ (최종접속일: 2019.10.9.).
62) LEANHEAT, https://leanheat.com/ (최종접속일: 2019.10.9).

발전기로 에너지를 생산하는 형태로 변하면서 참여자는 생산한 에너지를 소비하고 남는 에너지를 판매할 수 있는 구조가 형성되었다. 참여자는 잉여 에너지를 플랫폼에 등록하여 다른 참여자에게 판매하는 행위를 통해 플랫폼 참여율을 높이고 전력시장은 더욱 활성화된다.

또, 참여자 간에 유기적인 협력관계를 구축함으로써 플랫폼을 발전시킬 수 있다. 유기적인 협력관계 구축으로 참여자는 생산자, 소비자, 중개자뿐만 아니라 정부기관, 인터페이스 제공자, 연구기관, 기타 서비스 제공자 등으로 확대된다. 참여자 입장에서 지능형 수요자원 통합관리 플랫폼은 무한한 서비스와 잠재적인 고객의 연결고리 형태를 가지게 된다. 이렇게 참여자 간의 연결성이 구축된 네트워크 구조를 통해 플랫폼의 이해관계자의 역할이 유기적으로 변화할 수 있다.

[그림 4-12] 플랫폼의 주요 이해관계자들



자료 : Harvard Business Review, https://hbr.org/2016/04/pipelines-platforms-and-the-new-rules-of-strategy (최종접속일 :2020.10.14.), '에너지데이터 플랫폼' 비즈니스모델에 대한 이해와 사례 http://www.hellot.net/new_hellot/magazine/magazine_read.html?code=203&sub=003&idx=46318 (최종접속일 :2020.10.14.).

3.2. 에너지 서비스

에너지 기술의 발전에 따라 데이터를 기반으로 한 디지털 변환이 이루어지고 있다. 지능형 수요자원 통합관리 플랫폼에 진입하는 참여자의 증가로 에너지 서비스를 통한 수요관리, 분산자원 관리와 관련된 다양한 에너지 솔루션과 비즈니스 기회를 창출할 수 있다. 그리고 플랫폼 안에 들어오는 에너지 데이터를 인공지능 및 빅데이터로 분석하여 참여자의 선호에 맞게 다양한 서비스를 제공한다.

[그림 4-13]과 같이 프로슈머로 변화하고 있는 참여자가 전문화된

서비스를 요구하면서 에너지 솔루션 서비스에 대한 차별화가 필요해진다. 플랫폼은 참여자가 요구하는 것 외에 추가적인 서비스를 제공하고, 서비스 간의 시너지를 활용하는 전략적 에너지 솔루션을 만들어낸다. 즉, 단일 에너지 솔루션보다 서로 연계된 에너지 솔루션으로 참여자와 시스템의 유연성을 높인다.

예를 들어, 에너지 클라우드에서 다중 연료 기반 에너지 회사와 유틸리티 기업은 통합된 플랫폼을 활용하여 에너지 수요자에게 다양하고 전문화된 서비스를 제공한다. 그 결과, 더 많은 전력과 가스 유틸리티 기업들은 안정적으로 기업을 운영하고 기존의 석유와 가스 공급자들은 새로운 서비스 개발을 위해 투자를 계속 늘린다. 수요자는 에너지 회사와 유틸리티 기업으로부터 서비스를 제공받고 벤치마킹을 통해 안전성과 경제성을 고려한 요구사항을 플랫폼에 반영하여 더 다양하고 차별화된 서비스 제공을 요구한다.

이러한 지능형 수요자원 통합관리 플랫폼 서비스의 특징은 기존의 에너지 서비스에 자율성, 소비자 맞춤형, 지속가능성, 유연성을 추가한다. 또, 소비자의 니즈에 맞는 에너지 솔루션 제공 및 서비스의 가치를 차별화하여 수요자와 공급자 간의 접촉이 편리해지고 클라우드 기반으로 발생하는 비용효과를 극대화할 수 있다.

[그림 4-13] 플랫폼을 통한 제품 및 서비스의 가치 차별화



자료 : Guidehouse(2018), “Energy Cloud 4.0”, p. 12.를 참조하여 재구성

3.3. 부하관리

수요관리 서비스를 이용하는 소비자는 피크수요를 낮춰 얻을 수 있는 요금 인하를 기대하거나, 더 나아가 DR 시장에 수요자원을 판매함으로써 얻을 수 있는 수익을 기대한다. 이러한 소비자의 기대에 맞춰 다양한 서비스가 개발되고 운영되는 환경이 조성될 필요가 있다. AI 기술을 활용한 전력패턴 분석 등을 통해 피크수요 감축과 같은 서비스도 차세대 서비스로 개발이 진행되고 있지만, 본 절에서는 수요자원(Demand Response: DR) 관련 서비스 두 가지를 중점적으로 소개하고자 한다.

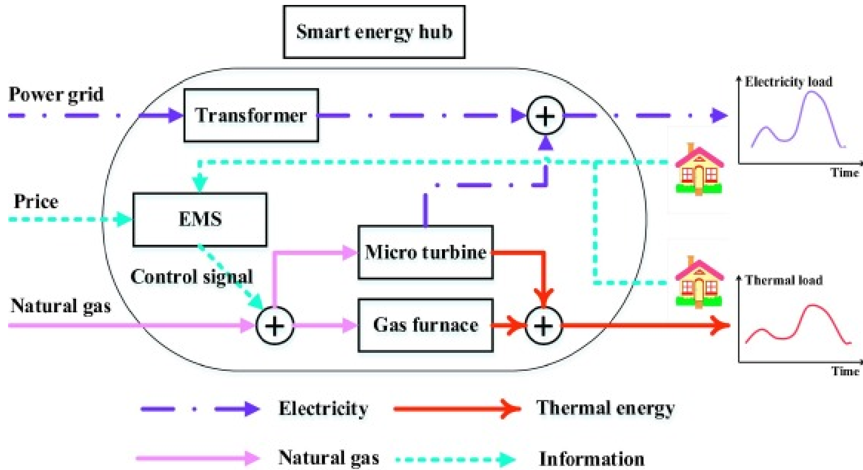
현재 DR 시장에 참여하기 위해서 참여자는 자신의 부하를 수동으로 제거하거나 스위치를 내려야 한다. 현재 DR의 경우 자발적

DR(경제성 DR, 미세먼지 DR, 피크수요 DR)과 의무적 DR(의무수요감축)로 구분할 수 있는데(산업통상자원부 보도자료, 2019.12.20.), 자발적 DR의 경우 하루 전 시장에 기존 발전기들과 경쟁하여 입찰하는 방식을 통해 참여할 수 있으며, 의무수요감축은 감축 시점 1시간 전에 이루어지는 수요감축 발령에 따라야 한다. 자발적 DR의 경우는 어느 정도 계획을 세워 대비할 수 있지만, 의무수요감축과 같이 갑작스럽게 발령되는 경우, 사업자들은 직접 스위치를 내려야 하는 점과 더불어 감축 시기에 따른 경제성 평가가 큰 불편으로 여겨진다. 이러한 불편을 해소해주는 자동수요반응(Automated Demand Response: ADR)의 개발은 기존 사업자의 불편을 해소함과 동시에 수요자원 진입장벽을 낮춰 더 많은 자원 확보를 기대할 수 있다.

ADR 기술은 DR의 작동 과정을 자동으로 처리해주는 서비스를 의미한다. 서비스 제공자는, DR 감축 발령 시기나 입찰 경쟁을 소비자가 가진 부하의 경제성과 비교, 분석하여 최적의 입찰가와 부하 감축량을 제공한다. 특히 AI 기술의 발달로 더 효율화된 서비스 제공을 기대할 수 있다. 다만, 아직까지 국내 ADR 기술은 보안성과 관련하여 여러 우려가 있어 기술개발이 더 이루어져야할 것으로 전망된다.

기존에 전력 사용자가 DR 프로그램에 참여하기 위해 부하를 낮춰 일부 불편을 겪었던 것과 달리, 전력/가스/열 등 다양한 에너지원을 통합 관리하여 사용자 불편을 최소화하며 DR 시장에 참여하거나 피크수요를 낮추는 효과를 기대할 수 있는 기술로 Integrated Demand Response(IDR) 서비스가 있다.

[그림 4-14] IDR 모식도



자료 : Wang et al(2017), "Review and prospect of integrated demand response in the multi-energy system", pp. 774

사람들은 실생활에서 다양한 에너지원을 제공받아 생활하고 있다. 전력을 포함하여 LPG 가스를 통한 난방, 주방기구 이용이 그 예다. IDR은 이러한 에너지원 전환을 통해 DR과 같은 효과를 기대하는 기술이다. 예를 들어, 빌딩 내 마이크로 터빈이 설치된 빌딩은 DR 발령이 내려지면 난방기로 공급되던 천연가스를 터빈으로 돌려 발전을 시작한다. 이때, 발전기는 전력 에너지와 더불어 열에너지를 빌딩에 공급하게 되고, 난방기를 이용할 때보다 효율은 낮지만 고객은 난방효과를 누릴 수 있다. 그와 동시에 터빈으로부터 생산하는 전력을 통해 순부하(Net Load) 저감효과를 누릴 수 있어 피크감축 및 DR 시장 참여가 가능하다. 특히 시간대사용(Time of Use: TOU) 요금제를 이용 중인 빌딩이라면 비싼 요금이 적용되는 시간대에 피크수요를 감축함으로써 요금절감 효과를 기대할 수 있다.

이처럼 IDR 서비스는, 소비자는 실생활에 불편함이 전혀 없이 요금 인하 및 추가 수익을 기대할 수 있으며, 전력계통 운영자는 피크수요 관리가 가능한 서비스이다.

3.4. 분산에너지 관리

분산에너지는 전력 시스템에서 지속적으로 증가하고 있으며, '프로슈머'(에너지 소비와 생산 모두를 하는 에너지 사용자)가 등장하고 있다. 에너지 시스템이 필요로 할 때 공급하고 사용 가능할 때 소비할 수 있도록 가능한 한 효율적으로 작동하도록 보장하기 위해 수요 측면의 유연성이 점점 더 중요해지고 있다.

지능형 수요자원 통합관리 플랫폼에서 프로슈머는 보유하고 있는 분산자원을 자체 소비하지 않고 판매할 수 있다. 이를 통해, 피크 절감과 수급균형을 지속적으로 유지하여 계통의 안정성을 높인다. 또 분산자원의 확대로 소비자들은 상황에 맞는 자원을 언제든지 확보할 수 있으며 신뢰성과 경제성이 높은 자원 확보를 위한 가격경쟁을 통해 분산에너지자원(Distributed Energy Resource, DER) 시장 참여를 자연스럽게 유도한다.

일본 큐슈지역에서는 분산에너지의 보급률이 높아 전력계통의 유연성이 부족해지는 현상이 발생하자, 전력변환장치(PCS) 원격/수동 제어를 통한 분산전원 제어 시장을 개설했다. 이 시스템에서는 재생에너지도 현물시장의 가격 시그널을 통해 발전 스케쥴링을 진행하며, 실시간 PCS 원격제어를 통해 시장 청산결과를 반영한다.

만약 분산에너지 측 모니터링 기기 또는 제어기기의 디지털화가 충분히 이루어지지 않아 수동제어를 해야 할 경우, 시스템/제어 시

스템 상에서 이를 고려한 스케쥴링을 진행한다. 큐슈전력의 이러한 시도는 에너지 분야의 디지털 전환으로 나아가는 중간다리를 어떤 형태로 제공할 수 있을지에 대한 시사점을 제공한다.

미국 뉴욕주의 유틸리티 회사인 Con Edison에서는 지역 가구에 분산자원을 확보하고 DER 시장을 활성화하기 위해 DER 플랫폼 시범사업을 운영하였다. 플랫폼을 통해 DER을 제공하는 서비스 업체의 정보를 제공하고 에너지 사용량과 에너지 비용을 DER을 통해 수월하게 관리하였다. 수요자는 자신에게 맞는 분산자원을 쉽게 찾음으로써 탐색비용을 줄이고, 공급자는 보유하고 있는 분산자원에 가장 적합한 수요자를 쉽게 찾음으로써 탐색비용과 시간을 절약할 뿐만 아니라 수요자 선호에 맞는 서비스 개발도 이루어질 수 있다.

Con Edison에서는 고객센터를 운영하여 새로운 DER이나 에너지 고효율제품을 홍보하고 Opower(에너지 솔루션 제공업체)와 협약을 맺어 수요자에게 에너지 소비에 대한 정보와 에너지절감 솔루션 및 서비스를 제공하고 있다. 이와 같이 플랫폼을 통해 다양한 데이터와 수요자의 정보를 분석하여 니즈에 맞는 수요자를 찾고 수요자에게 적합한 제품과 서비스를 연결하여 기존 분산자원의 지속성 문제를 보완한다.

디지털화는 분산에너지 관리에서 더 나은 인센티브를 제공하고, 공급자가 잉여 전력을 그리드에 저장하고 판매하기 쉽게 함으로써 가정용 태양광 패널 및 저장소와 같은 분산 에너지 자원의 개발을 촉진할 수 있다. 또, 블록체인과 같은 새로운 도구가 에너지 플랫폼 내에서 피어 투 피어(Peer-to-Peer) 전기 거래를 촉진하는 데 도움이 될 수 있다.

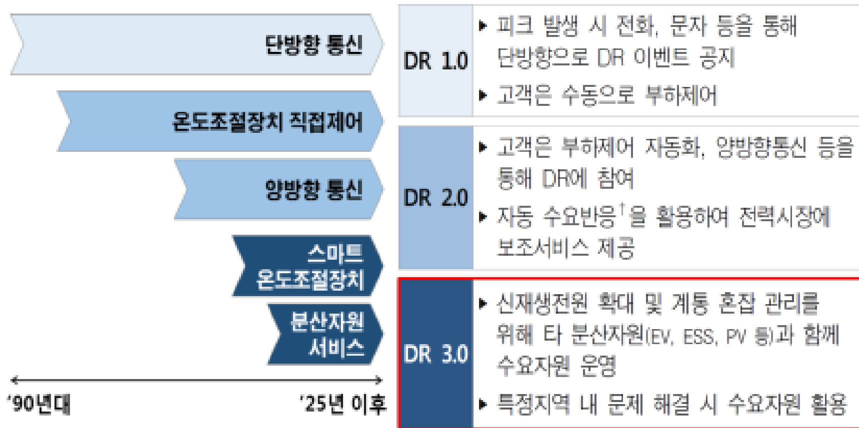
3.5. 지능형 수요자원 통합관리

지능형 수요자원 통합관리 플랫폼으로 ICT와 분산자원을 활용한 마이크로 그리드, 가상발전소(VPP), V2G 등의 다양한 비즈니스 모델은 수요자원을 활용함으로써 간헐성 문제를 극복하고, NWA[63]로서의 지역맞춤형 DR 운영을 가능하게 해준다.[64] [그림 4-15]는 디지털화를 통한 양방향 통신, ADR이 가능한 DR 2.0을 거쳐 분산자원 서비스에서의 활용이 가능한 통합 수요자원 관리가 예상되는 DR 3.0의 개념을 도식화한 수요반응의 발전 추이를 보여주고 있다. 한전경제경영연구원(KEMRI)에 따르면 신재생전원과 통합된 DR의 글로벌 수익은 2017년 1억 3,210만 달러에서 2026년 13억 달러로 증가할 것으로 예상된다.

63) NWA(Non-Wires Alternatives) : 수요반응, 분산전원, 에너지저장장치, 에너지효율, 계통 S/W 운영 및 제어 등을 통해 배전단內 특정설비 건설을 회피하거나 업그레이드를 지연하는 방법(KEMRI 전력경제 Review 제 18호 ,2018)

64) KEMRI 전력경제 Review 제 18호 (2018)

[그림 4-15] 수요반응의 발전 추이



자료 : KEMRI 전력경제 Review 제 18호 (2018), "글로벌 수요반응 운영현황 분석 및 전망", p 9.

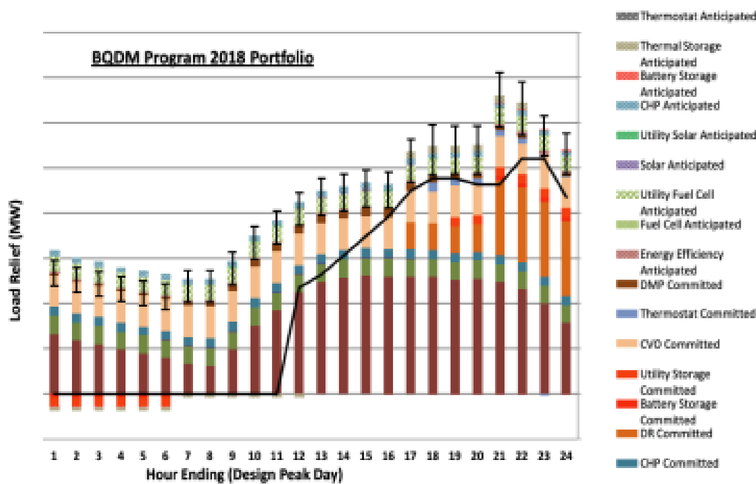
DR 3.0에서는 수요자원의 기능적인 측면에서 'DER 통합운영'과 '지역맞춤형 DR'의 두 가지 형태로 나눌 수 있다. 첫 번째는 'DER 통합운영'으로 태양광이나 EV 같은 분산자원이 수요반응 시장과 연계된다. DER과 통합운영 되면서 신재생전원, EV 등의 시장참여와 수요자원의 범위가 확대된다. 이와 더불어 EV, ESS 등의 분산자원들은 ADR과 연계하고 보조 운영을 하여 신재생전원의 출력 간헐성 문제를 보완하고 석탄발전의 온실가스 배출을 저감시키는 효과를 얻을 수 있다. 또한, EV를 수요자원으로 활용하면 전기자동차의 충전 스케줄링 최적화를 통하여 피크 억제 기능을 수행할 수 있다.

두 번째는 '지역 맞춤형 DR'로 수요자원이 필요한 특정 지역을 대상으로 수요관리가 진행된다. NWA 형태인 DR 운영은 전력설비가 낙후되어 계통혼잡이 발생하거나 부하 예측량이 설비용량을 초

과하는 특정 지역을 대상으로 진행된다. NWA 형태로 DR이 진행되면 해당 지역의 전력 수요를 발전소와 송전선을 건설하여 충족하는 방식을 분산전원, 수요반응, 에너지저장장치로 대체하기 때문에 많은 비용이 드는 투자를 회피할 수 있다. 또한, 환경적 관점에서 NWA는 화석 연료를 사용하는 발전소보다는 신재생 에너지 사용이 확대되기 때문에 온실가스 배출도 줄인다.

미국에서는 Con Edison의 BQDM(Brooklyn Queens Demand Management) 프로그램을 통해 뉴욕을 대상으로 NWA 형태의 DR 운영을 통해 설비투자를 회피할 수 있도록 한다.

[그림 4-16] Con Edison사 수요자원 통합관리 포트폴리오 (2018년 하계)



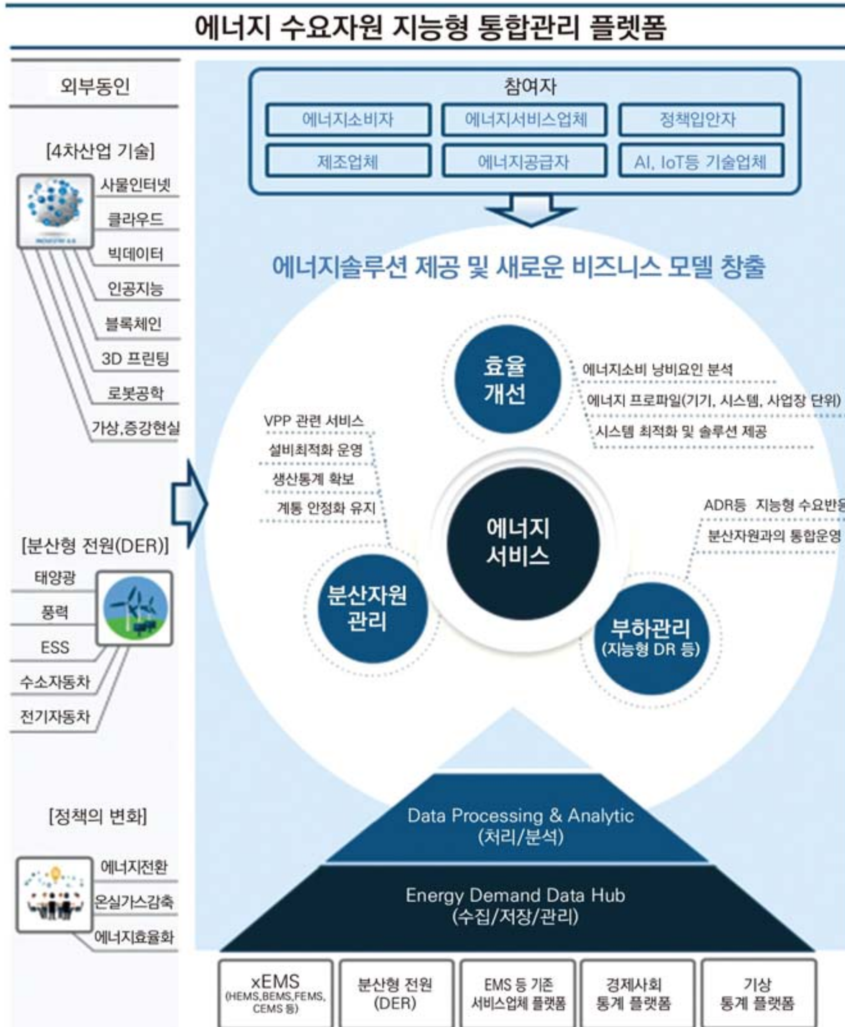
자료: Michael H. Gilbert(2017), “The Utility Business Transformation REV-New York“, p. 19.

에너지 효율성, 수요반응, 태양광, 저장, 마이크로 그리드를 포함한 다양한 분산자원을 통해 10억 달러의 변전소 건설비를 2억 달러

의 분산자원 유지비로 대체하였다. ‘지역 맞춤형 DR’로 뉴욕의 시간당 요금 및 수요 요금에 대한 데이터를 활용하고 ‘DER 통합운영’으로 태양광, 저장 및 연료전지 사용을 최적화하여 뉴욕의 피크 수요기간 동안 안정적인 전력을 제공하였다.

국내에서는 피크 감축을 위한 신뢰성 DR과 요금 절감을 위한 경제성 DR로 시장기반 거래로 개편되고 있다. 지능형 통합 플랫폼을 통해 국내 이해관계자 간의 DR 신뢰도를 확보하고 AMI 보급 및 표준 통신 프로토콜을 구축하여 수요자원을 효과적으로 관리해야 한다.

[그림 4-17] 지능형 에너지 수요자원 통합관리 플랫폼 구축(안)



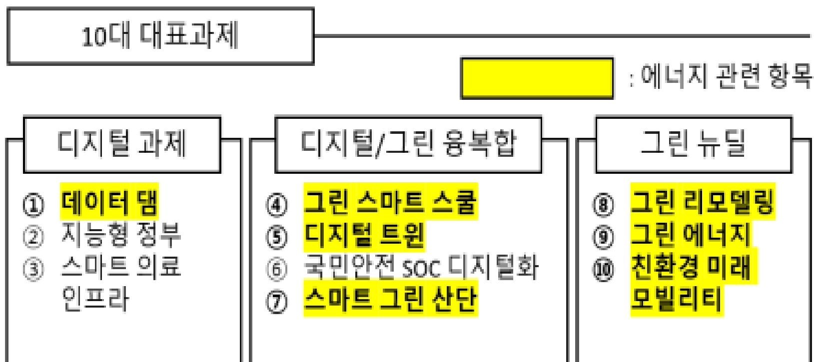
자료 : 저자작성

4. 한국판 뉴딜을 통한 지능형 수요자원 통합관리 플랫폼 발전방안

지능형 수요자원 통합관리 플랫폼은 수요관리 서비스 공급자와 소비자의 연결성이 강화되고, 다양한 형태의 참여자가 존재하여 새로운 사업 모델의 창출이 용이하다는 특징이 있다. 기존의 그리드에서 이러한 기술 기반 플랫폼으로 전환하기 위해서는 기술적인 환경 및 H/W, S/W의 제반 요건을 갖추고 제도적인 지원이 뒷받침되어야 할 것이다.

지난 7월 14일 발표된 '한국판 뉴딜 종합계획'에 따르면, 10대 대표과제 중 7개 과제가 지능형 수요자원 통합관리 플랫폼과 간접적으로 연계되어 있지만, 종합계획에 명시적으로 포함이 되어 있지는 않다([그림 4-18] 참조).

[그림 4-18] 한국판 뉴딜 10대 대표과제



자료 : 「한국판 뉴딜 종합계획」 발표 보도자료 '20.07.14. 기획재정부

지능형 수요자원 통합관리 플랫폼은 D·N·A(Data, Network, AI) 기반기술을 바탕으로 에너지 절약과 환경 개선, 신재생에너지 확산 등의 기반이 되는 "그린 에너지댐" 등 친환경 에너지 인프라 구축을 가속화할 전망이다. 이를 통하여, 에너지 수요자원 관련 신시장 창출과 민간의 투자를 촉진하는 디지털/그린 융복합 뉴딜의 촉매제 역할을 견인할 것이다.

4.1. 스마트시티 사업과 연계한 발전방안

지능형 수요자원 통합관리 플랫폼을 적용하기에 가장 적합한 모델은 테스트베드형 스마트시티이다. 한국형 뉴딜사업에서는 국가 시범도시를 지정하여 ① 미래 기술 접목이 가능한 테스트베드, ② 데이터 기반 운영을 통한 도시문제 해결 및 신산업 창출, ③ 민간 기업과 시민이 주도하는 혁신 생태계 조성을 목표로 하고 있다.[65] 스마트시티 국가 시범도시로는 세종 5-1 구역과 부산 에코델타 스마트시티가 선정되었다.

특히, 스마트 그린시티 도시계획은 4차 산업혁명 기술을 활용해 온실가스 배출량을 줄이고 제로에너지 또는 에너지 자립을 목표로 하고 있어 지능형 수요자원 통합관리 플랫폼의 기술개발과 시범운영에 적합한 환경이다. 스마트시티를 성공적으로 구축하기 위해서는 스마트 시티 내 여러 요소 사이의 연결성을 극대화해야 한다. 따라서 스마트시티 구축을 위해 데이터 클라우드 기반 개방형 관제 및 서비스 제공을 위한 플랫폼을 구성해야 한다.[66] AMI를 통해 정

65) 4차산업혁명위원회(2018), "스마트시티 추진전략", p. 8~9.
66) KPMG(2019), p. 4, 10, 11.

보를 수집하고 고객과 다양한 비즈니스 모델을 이어줄 수 있는 지능형 수요관리 통합관리 플랫폼은 스마트시티 운영에 있어 기반 역할을 할 것이다. 5G/IoT 등 선진화된 에너지/데이터 인프라를 바탕으로 개선된 수요관리 서비스와 다양한 파생 비즈니스 모델이 개발되고 성숙해질 수 있는 혁신의 장이자 테스트베드로 활용될 수 있다.

[그림 4-19] 스마트시티 개념도



자료 : 정재승(2018), "세종 스마트시티 기본구상안", p. 4.

적절한 에너지/데이터 인프라가 갖춰진다면 지능형 수요자원 통합관리 플랫폼이 적용된 스마트시티 거주자들은 다음과 같은 삶의 방식이 가능할 것으로 예상된다. 지능화된 분산자원은 머신러닝 결과를 토대로 전력을 생산하여 소비하거나 주변 이웃에게 전력을 판매할 수 있다. 재생에너지 중심의 불안정한 공급에 대비하여 에너

지 저장장치와 ADR(Automated Demand Response), IDR(Integrated Demand Response)과 같은 수요자원 운용 방안을 융복합하여 에너지 자립도와 안정성을 향상시킨다. 사용자별 에너지 소비패턴을 분석한 결과를 토대로 스마트시티 전체의 에너지 효율성이 향상된다. 전기화된 대중교통을 활용하고, 시민들의 P2P 전력거래를 중개하는 등 유틸리티의 역할도 기대할 수 있다. 이렇듯 스마트시티를 통해 지능형 수요자원 통합관리 플랫폼의 시범운영 및 개발을 진행할 수 있다.

[그림 4-20] 스마트시티 생태계의 구성 요소



자료 : KPMG(2018), “데이터 중심의 도시 운영, Data-Driven 스마트 시티를 주목하라”, p. 10.

스마트시티 국가 시범도시로 선정된 세종 5-1 구역과 부산 에코델타 스마트시티는 미래 선도기술의 테스트 베드로서 국내 4차 산업혁명 기술 개발 및 확산의 거점이 될 것으로 기대된다.[67] 지능형 수요관리 통합관리 플랫폼은 두 도시에서 산업 간 정보 공유를 용이하게 하여 스마트시티 구축에 있어 촉매제 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

한국판 뉴딜 사업을 통해 지능형 수요관리 통합관리 플랫폼이 본격적으로 개발되고 구현될 기회를 얻을 수 있다. 정부는 한국판 뉴딜을 통해 스마트시티 통합 플랫폼 기반 구축사업을 위해 174억 원을 추경예산에 반영하였다.[68] 이에 따라 스마트시티 구축은 더욱 탄력을 받을 것이고 스마트시티와 직간접적으로 연계된 지능형 수요관리 통합관리 플랫폼 구축 또한 앞당겨질 것이다.

4.2. 플랫폼 기반 스마트 산업단지의 에너지 효율화 운영

스마트 산단이란, 산업단지 내 기업 간 데이터 연결·공유를 스마트 기술을 통해 스스로 연계하는 산업단지를 의미한다.[69] 한국판 뉴딜사업에서 추진 중인 스마트 그린산단은 개별 스마트 공장 솔루션의 통합·확장을 통해 에너지효율향상과 온실가스 저감에 혁신적인 변화를 가져올 수 있다. 일반 건축물 중심으로 구성된 스마트시티와는 달리 스마트 산단은 제조업을 중심으로 구성된다.

산업단지에는 에너지원뿐만 아니라 비에너지원(원료용)과 같은 다

---

67) 4차산업혁명위원회(2018), p. 7~8.
68) 국토교통부(2020), “한국판 뉴딜, 스마트시티 통합플랫폼 보급 앞당긴다” 발표 보도자료
69) 혁신성장(2019), “스마트 산단 표준모델 구축 및 선도산단 실행계획”, p. 1.

양한 에너지원과 관리시스템이 존재한다. 이를 효율적으로 관리하기 위해 도입된 '스마트 공장'은 4차 산업혁명 기술과 제조기술이 접목된 지능화된 공장을 의미하며, 산업통상자원부는 "스마트 제조 혁신 비전 2025"를 발표하여, 화학, 자동차, 철강, 섬유 등 다양한 제조업에 스마트 공장 도입 확대를 추진하고 있다.[70)]

스마트 공장의 기능은 <표 4-2>에 요약되어 있다. 스마트 공장은 광범위한 네트워크 전반에 걸쳐 성능을 최적화하고 새로운 환경에 실시간으로 적응해 학습하며 전체 생산공정을 자율적으로 운영하는 시스템이다.[71)] 스마트 공장의 유연성은 스마트 산단 내의 기업 간 네트워크 구축의 핵심이다.

〈표 4-2〉 스마트 공장의 기능

기능	설명
제조작업	디지털 트윈, 인공지능, 자동 로봇 등을 활용하여 생산성 향상
창고운영	증강현실을 활용한 생산품 최적 배치
재고탐색	실시간 모니터링으로 해당재고의 이동경로 및 위치 추적
품질관리	최적화 분석을 통한 인라인 품질 테스트
유지보수	증강현실의 예측기능으로 유지보수 및 수리
쾌적한 환경	잠재적인 위협 제거와 쾌적한 근무환경 제공

자료 : Deloitte, "The smart factory:Responsive, adaptive, connected manufacturing", p. 11.

70) KPMG(2019), "4차 산업혁명과 제조혁신 : 스마트 팩토리 도입과 제조업 패러다임 변화", p. 6~8.

71) Deloitte(2017), "The smart factory : Responsive, adaptive, connected manufacturing", p. 5~6.

산업단지 내에 보급된 스마트 공장 솔루션들은 <표 4-3>과 같은 장점을 가지며, 지능형 수요관리 통합관리 플랫폼을 통해 4차 산업혁명 기술과 결합될 때 효율성이 더욱 향상될 것으로 기대된다. 더 나아가 산단 내 스마트 공장 솔루션의 연계를 통해 이러한 장점을 스마트 그린산단 단위까지도 확대할 수 있다.

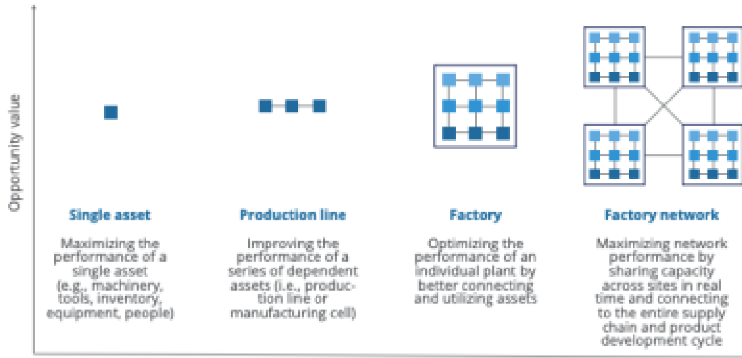
〈표 4-3〉 스마트 공장의 장점

장점	설명
효율관리	실시간으로 자원을 최적화하여 효율증대
품질향상	품질 결함을 예측하고 감지하여 자원 폐기율 감소
비용감소	최적화 프로세스 구축으로 운영 비용절감
안전성	인간의 실수로 야기되는 사고예방

자료 : Deloitte, “The smart factory:Responsive, adaptive, connected manufacturing”, p. 12.

[그림 4-21]에 제시된 바와 같이 개별 공장 단위로 적용되는 공장에너지관리시스템(FEMS)는 서로간의 연결 및 수요자원 지능형 통합관리 플랫폼과의 연계를 통해 말단 자원부터 전체 네트워크까지 확장이 가능하며 산업단지 레벨에서의 효율적인 운용을 가능케한다.

[그림 4-21] 개별 스마트 공장의 연결을 통한 확장 개념도



자료 : Deloitte, “The smart factory:Responsive, adaptive, connected manufacturing”, p. 11.

정부는 2019년 “스마트 산단 선도 프로젝트”를 통해 창원, 반월시화 2곳을 스마트 선도 산단으로 선정하였다[72]. 반월시화 스마트 산단에서는 기업의 업종과 벨류체인을 고려하여 제조혁신과 환경개선을 목표로 하고 있다. 산단 내 데이터 연계 및 테스트베드를 통해 산업단지 내의 기업 간 네트워크가 효과적으로 구축될 수 있다.[73] 스마트 공장을 중심으로 산단별로 연계된 데이터가 지능형 수요관리 통합관리 플랫폼을 통해 확대되면 스마트 공장의 수요관리에 대한 기술 검증과 데이터 분석 역량이 강화되는 시너지 효과가 나타날 것이다.

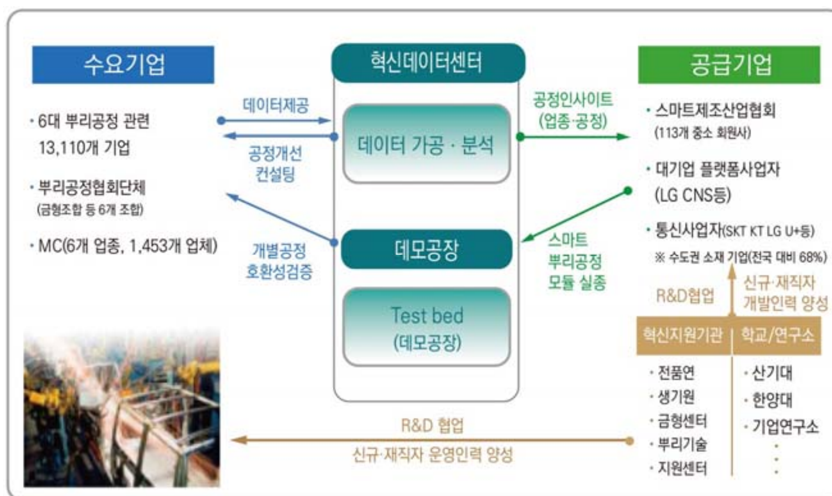
환경적인 측면에서도 지능형 수요관리 통합관리 플랫폼을 활용하여 산단별 친환경 생산기반과 창업 생태계를 구축할 수 있다. 플랫폼의 ICT 기술로 고질적 환경문제를 통합 관리하여 산업단지에 종사하는 근로자에게 쾌적한 환경을 조성해주고 만족도를 높여준

72) 혁신성장(2019), “스마트 산단 표준모델 구축 및 선도산단 실행계획”, p. 1.
73) 혁신성장(2019), “스마트 산단 표준모델 구축 및 선도산단 실행계획”, p. 2~3.

다.[74] 또, 플랫폼에서 산단별로 특화된 자원이 생성되어 산단 내 에너지효율관리 생태계 조성과 에너지 신산업 활성화로 일자리 창출 효과도 기대할 수 있다.

이렇듯 지능형 수요관리 통합관리 플랫폼은 다양한 에너지원을 연계하여 활용할 수 있는 공간을 제공한다. 스마트 공장은 다양한 에너지원의 플랫폼 진입을 용이하게 하는 역할을 한다. 또한 플랫폼 연계로 IDR 기술이 활용되면 산업단지 내 에너지 소비에 대한 유연성과 선택의 폭도 넓어진다. 산업단지 내에 분산된 에너지원과 비에너지원은 지능형 수요관리 통합관리 플랫폼의 연계로 에너지 관리 측면에서 비용 절감 효과를 기대할 수 있다.

[그림 4-22] 반월시화 스마트 산단 구성도



자료 : 혁신성장 관계부처 합동(2019), “스마트 산단 표준모델 구축 및 선도산단 실행계획”, p. 12.

74) 혁신성장(2019), “스마트 산단 표준모델 구축 및 선도산단 실행계획”, p. 6~8

제5장 요약 및 결론

4차 산업혁명은 전 세계가 마주한 현실이다. 사물인터넷, 인공지능 등 디지털 기술의 유례없이 빠른 발전으로 사회·경제 전반에 걸쳐 변혁이 이루어지고 있다. 초연결 사회에서 사물인터넷 등을 통해 다양하고 방대한 데이터가 생성·수집되면 인공지능이 이들 빅데이터를 분석하고 학습하여 지능형 서비스를 제공하게 된다. 이는 4차 산업혁명이 과거의 산업혁명과 차별화되는 특징 중 하나이다. 데이터는 새로운 경제적 가치를 창출하는 새로운 전략적 자산이라고 할 수 있다. 디지털 기술의 발달로 데이터를 많이 확보하고, 잘 분석하여 활용하는 기업이 더 큰 시장을 확보하고 발전해 나가는 데이터 경제 시대가 도래 했다. 글로벌 10대 기업에는 마이크로소프트, 애플, 아마존, 구글 등 디지털 기술 기반 데이터를 활용하는 다수의 기업이 포함되어 있다.

정부는 데이터가 모든 산업의 발전과 새로운 가치창출의 촉매 역할을 하는 '데이터 경제'로의 전환(2018.8.31.)을 선언하였다.[75] 또한 2020년 7월 14일, 정부는 디지털 뉴딜과 그린뉴딜을 내용으로 하는 '한국판 뉴딜 종합계획'[76]을 발표하였다.[77] 디지털 뉴딜은 디지털 경제의 기반이 되는 '데이터 댐' 등 대규모 ICT 인프라를 구축하고,

75) 과학기술정보통신부・행정안전부・금융위원회・방송통신위원회(2018), 데이터를 가장 안전하게 잘 쓰는 나라를 만들겠습니다(보도자료), p. 2.

76) "공공과 민간의 네트워크를 통해서 생성되는 데이터들을 모으고, 그것을 표준화하고 가공·활용하여, 더 똑똑한 인공지능을 만들어, 기존 산업의 혁신과 혁신적인 서비스 개발을 통해 일자리를 창출하는 것"으로 정리하고 있다

77) 기획재정부(2020), 한국판 뉴딜 종합계획 발표(보도자료), p. 1.

데이터 수집 표준화와 데이터 가공·결합·고도화 등 데이터경제 촉진을 통해 新산업 육성 및 주력산업의 디지털 전환을 가속화하고 경쟁력을 강화하는 것을 목표로 하고 있다.78)

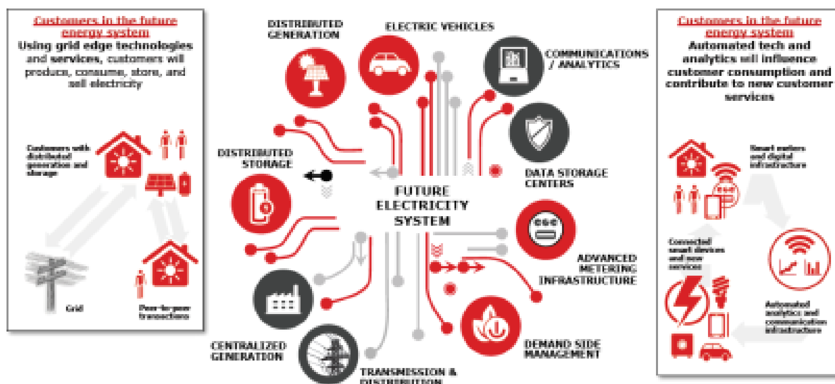
데이터 경제 및 디지털 시대를 맞이하여 국내 에너지수요관리 시스템도 새로운 전환의 문턱에 서있다. 수요관리의 디지털 전환은 국내 에너지 수요관리의 혁신을 위한 새로운 기회이자 도전이다. 디지털 기술의 활용으로 개별 에너지 사용기기, 설비 시스템, 사업장 및 공간 단위별로 에너지가 어떻게 얼마나 사용되고 있는지 실시간 계측·모니터링이 가능한 시대이다. 풍부한 양질의 에너지수요 데이터가 건물·산업 전반에서 생산되고 활용되어 에너지수요관리와 효율 혁신이 이루어질 수 있도록 에너지수요 측면의 데이터 구축과 생태계 조성이 시급한 핵심과제가 되고 있다. 에너지수요관리 분야야말로 디지털 뉴딜과 그린 뉴딜을 모두 포괄하는 분야이므로, '한국판 수요관리 뉴딜정책'을 전략적으로 과감하게 추진하여야 한다.

본 연구는 제4차 산업혁명 시대의 도래에 맞추어 다양한 디지털 기술을 활용하여 선도적 데이터 기반 에너지수요관리 발전전략을 모색하고자 총 3년에 걸쳐 수행되었다. 1차 연도 연구는 4차 산업혁명 시대에 대응한 에너지효율관리제도의 개선 방안을 주요 내용으로 하여 수행하였다. 4차 산업혁명의 전개에 따른 에너지사용 기기의 기술발전, 스마트화, 융복합화 등의 변화가 에너지효율 관리에 어떠한 영향을 미치고 어떤 의미를 갖는지 평가하였다. 2차 연도 연구는 '공급자 관점'에서 기술기반 수요관리 산업의 생태계 강화와

78) 기획재정부(2020), 한국판 뉴딜 종합계획 발표(보도자료), p. 6 내용을 바탕으로 저자 정리

시장 환경 조성 및 경쟁력 강화를 주요 연구내용으로 하였다. 1·2차 연도 연구를 통해 4차 산업혁명의 진전에 따른 에너지효율향상과 수요관리 관련 기술 및 생태계변화를 조망해보고, 3차 연도에는 ‘수요자 관점’에서 시장 환경 조성과 시장참여 활성화를 위한 ‘지능형 에너지 수요자원 플랫폼 구축(안)을 제안하였다. 디지털화를 통한 에너지 수요 관련 데이터의 생산과 유통은 에너지 시스템과 가치사슬에 큰 변화를 가져올 것으로 전망되며, 엣지 컴퓨팅, 인공지능 등을 활용한 무수한 에너지효율 관리 기술 및 에너지 서비스가 에너지 수요자 중심으로 창출될 것이다. 산업 분야의 에너지 관리자를 대상으로 한 설문조사 분석결과, 효율개선을 위한 디지털 기술은 자동제어기능, 모니터링 및 분석기능 강화 등을 통해 소비자의 편리성을 제공하며, 수요반응, 분산전원 서비스와 연계성을 통해 소비자에게 수익을 창출하며 시장장벽을 낮출 것이다.

[그림 5-1] 에너지 수요자 중심의 미래 에너지 시스템 변화



자료 : Astarios et al (2017), “The Future of Electricity New Technologies Transforming the Grid Edge“ P5.

비용효과적인 에너지 수요자원의 관리를 위해서는 소비자와 플랫폼 중심의 에너지 수요생태계가 구축되어야 한다. 지능형 에너지 수요자원 플랫폼은 에너지 수요자 측면의 소비와 생산 관련 디지털 데이터가 클라우드를 통해 공유되고, 분석을 거쳐, 에너지 수요 관리 및 판매의 최적화와 이를 위한 생태계를 구축하는데 있어 중추적인 역할을 할 것이다. 에너지 공급자, 에너지 수요자, 에너지 서비스사업자 등은 플랫폼 참여를 통해 에너지 수요 관련 신시장을 창출하고 다양한 서비스와 데이터를 공유하는 조화로운 기회의 장을 열 것이다.

디지털화를 통한 소비자와 플랫폼 중심의 효과적인 에너지 수요자원의 관리를 위해서 도출된 정책적 시사점은 다음과 같다. 첫째, 에너지 수요 부문의 디지털 혁신 기반 조성을 위하여, 에너지 수요자 측면에서 생성되는 소비와 판매에 대한 에너지 수요 빅데이터 구축 및 활용방안이 필요하다. 둘째, 디지털화를 통해 에너지 수요 관련 생태계 변화와 개방형, 통합형, 자율형 시장 환경 조성을 위한 에너지 수요 관련 플랫폼 구축·운영 방안이 마련되어야 한다. 마지막으로, 디지털 데이터 공유와 활용을 위하여 정부는 개인정보의 보호, 인적자원 양성 등의 역할을 담당하여야 한다.

1. 에너지수요 빅데이터 구축 · 활용

에너지수요 부문의 디지털 혁신을 위해서는 수요측면의 수요에 대한 신뢰성 있는 계측 데이터 구축(수집·표준화·분석)이 우선적으로 추진되어야 한다. 에너지수요 부문의 디지털 혁신은 데이터 구

축에서부터 시작된다. 에너지 분야에서 공급 부문의 데이터는 양적으로 풍부하고 질적으로도 우수한 편이다. 그러나 수요 부문의 데이터는 양적, 질적 측면에서 매우 빈약한 수준에 있다. 에너지 사용이 미터기 이후 단계(BTM: Behind The Meter)에 있는 개별 기기 및 설비 시스템 단위의 미시적 수요 데이터는 거의 전무한 실정이다. 에너지는 기기 및 설비를 통해 소비되므로, 효율향상과 부하관리 활동은 에너지가 어느 기기에서 얼마나 어떻게 사용되고 있는지 파악하는 것에서부터 시작된다. 오늘날 계측 데이터는 절대량이 부족하기도 하지만, 계측된 데이터가 아직 공유되지 못하고 있다. 계측된 데이터의 신뢰도가 충분하지 못한 경우도 있다. 모든 계측 데이터는 측정오차(Measurement Error), 계통오차(Systematic Error), 그리고 우연오차(Random error)를 가질 수밖에 없다. 따라서 계측된 데이터의 신뢰도를 평가하고 그 수준을 보정 및 표준화하여 고품질의 데이터를 제공하는 것이 시급히 요구된다. 수요 부문 데이터는 에너지 소비 데이터뿐만 아니라 소비에 영향을 미치는 기온, 습도, 세부 업종, 기기 및 설비 특성(제조사, 정격용량, 평균 사용량, 평균 사용시간), 시스템 단위 특성 등 다른 데이터들도 가능한 함께 수집·축적되어야 한다. 그리고 데이터는 익명성이 철저하게 보장되는 방식으로 저장되어야 한다.

또한 기후조건에 따라 변동성이 높은 자가 태양광 등 분산전원의 보급이 빠르게 확대되어 전력 수급관리에 문제를 야기할 수 있다. 자가 태양광 분산전원의 전력 생산 데이터를 실시간으로 수집하고, 적절한 부하관리를 위해 시뮬레이션 분석 등을 통해 예측할 필요가 있으며, 수요 측 공급 자원의 생산통계도 수집·관리되어야 한다.

고품질 계측 데이터 제공은 다음과 같은 효과가 기대된다. 첫째, 빅데이터로 학습한 인공지능(AI) 등 처리기술 및 분석기법이 고도화되고, 에너지관리·효율화·부하관리, 분산전원의 운전관리 등 다양한 분야에서 지능화와 서비스 솔루션 개발이 활성화될 것이다. 나아가 새로운 서비스 비즈니스 모델이 등장할 것으로 예상된다. 또한 고품질 계측 데이터 제공은 AI 기업에 알고리즘 고도화와 신뢰성 제고의 기회가 되어 AI 기술개발을 촉진하게 된다.

둘째, 기기 및 설비의 에너지 성능과 에너지효율 투자의 성과에 대한 신뢰성 있는 계측 정보의 제공은 민간 투자의 활성화를 유도할 수 있다. 신뢰성 있는 에너지 절감수단의 부족과 절감성과의 불확실성은 에너지효율 투자의 주요 장애요인으로 지적되어 왔다. 에너지 소비 등급 표시제도 및 고효율 인증 제품의 에너지효율 성능은 일정한 조건하에서 기술적 성능만을 나타내고 있어 실제와는 크게 차이가 있다. 소비자의 효율 투자 의사결정을 지원하고 성과에 대한 불확실성을 줄이기 위해서는 절감 수단에 대한 검증된 정보 제공이 무엇보다 중요하다.

셋째, 고품질 계측 데이터는 국가 에너지수요관리 목표 수립 및 프로그램 성과분석, 수급전망 정밀화 등에 크게 기여한다. 절감수단 발굴 및 절감 잠재량 추정, 수요관리 목표량 산정을 계측 데이터 활용으로 정밀화할 수 있어 수요관리 목표량 계획의 타당성과 실효성을 높일 수 있다. 우리나라는 에너지기본계획, 에너지이용합리화 기본계획, 전력수급기본계획 등 다양한 계획을 수립하여 추진하고 있다. 이들 계획은 수요관리 목표량을 산정하고 목표 수요(수요 전망량 - 절감 목표량)를 설정하고 있다.

넷째, 에너지 사용기기 제조업체의 제품·서비스 융합과 서비스 기능의 확대를 촉진하게 될 것으로 기대된다. 제조업체는 생산제품에 IoT와 AI 기술을 적용하여 지능화하고, 제품의 데이터를 기반으로 유지·보수 솔루션을 개발하여 서비스를 제공하는 새로운 비즈니스 모델을 창출할 수 있다. 결국 디지털화·지능화와 더불어 서비스 기능의 추가는 제품의 차별성을 높여 경쟁력 강화로 이어질 것이다.

마지막으로 디지털화의 특징인 상호작용·융합의 증가와 연결성[79]을 기반으로, 기존에 존재하던 에너지관리시스템(EMS), 분산형 전원(DER), 서비스 업체 플랫폼, 경제사회 통계 플랫폼, 기상 통계 플랫폼의 데이터를 통합적으로 분석·처리·가공하여 고품질 계측 데이터를 구축한다면, 에너지수요 부문의 디지털 혁신에 큰 힘이 될 것이다.

2. 데이터 공유·활용을 위한 기반 구축

디지털 시스템은 외부 사이버 공격에 취약하다. 개인정보가 데이터에 포함되어 있어, 보안 및 개인정보 보호는 빅데이터 기반 스마트 에너지수요관리에서 가장 중요한 과제 중 하나이다. 사이버 보안 메커니즘은 국가 차원에서 전략적·지속적으로 개선하면서, 데이터 보호와 데이터 접근성 사이에 적절한 균형이 필요하다. 데이터 수집, 연결과 개방은 데이터 제공자가 자신의 데이터가 안전하게 보호되고 자신의 데이터를 제어할 수 있다는 신뢰가 없다면 지

79) IEA(2017), Digitalization&Energy, p. 22.

속되기 어렵다. 따라서 개인정보 보호와 데이터 활용에 대한 균형 잡힌 정책이 마련되어야 한다.[80] 이를 토대로 데이터가 안전하게 활용되어야 지속 가능한 데이터 경제 생태계가 조성될 수 있다.

에너지 소비자는 자신의 데이터를 소유할 권리가 있고 개인 데이터는 보호되어야 한다. 데이터 소유권과 개인정보 보호를 강화하기 위해서는 산업 자체의 규제, 기술적 수단, 법적 수단이 함께 요구된다. 고객의 데이터와 개인정보를 보호하면서 데이터 제공·공유를 활성화할 수 있는 방안들이 다각적으로 검토되어야 한다. 데이터는 소비자가 허용하는 경우에만 사용해야 한다. 플랫폼에서 데이터 거래 원칙과 기준에 대한 가이드라인을 마련하여 데이터 거래를 중개하거나 데이터 공유를 허락하고, 데이터를 제공하는 개인 및 업체에 적정한 인센티브를 주는 방안도 검토될 수 있다. 철저한 보호가 요구되는 개인정보 데이터는 별도로 저장·관리하는 기술을 적용하여 소비자의 우려를 줄여줄 수 있다.

빅데이터 기반의 에너지관리는 새로운 분야로서 전문가가 부족하다. 보다 나은 에너지관리를 위해 에너지 전문가, 데이터 과학자, IT 전문가, 엔지니어링 전문가 및 에너지관리 전문가의 협업이 필수적이다. 또한 인적 자원 확보를 위해 빅데이터 기반 스마트 에너지관리의 다양한 직무에 적합한 능력을 갖춘 인력 양성이 필요하다.

80) 기획재정부(2020), 김용범 1차관, ‘데이터 경제 활성화 TF’ 2차 회의 개최(보도자료), p. 6.

3. 지능형 에너지 수요자원 통합관리 플랫폼 구축 · 운영

데이터 기반 지능형 수요관리 생태계 조성을 위해서는 데이터 거래·공유 및 수요관리 서비스 제공을 지원하는 클라우드 기반 플랫폼 구축이 필요하다. 플랫폼은 데이터 저장장치 등 하드웨어와 분석·응용을 위한 소프트웨어로 구성되며, 접속 관리와 데이터 수집·분석·응용개발 등 공통 기반을 담당하는 핵심적 역할을 수행한다. 데이터는 인공지능 등 분석 및 예측 기술을 발전시키고 다양한 서비스 솔루션 창출을 가능하게 하는 중요한 자원이며, 데이터를 저장・분석하고 새로운 가치와 서비스를 제공할 수 있게 하는 기반이 플랫폼이다. 그리고 데이터, 인공지능, 클라우드를 잘 연계하여 시너지 효과를 낼 수 있는 인프라가 클라우드 기반 플랫폼이다.

클라우드 기반 통합 수요관리 플랫폼은 에너지 수요 측면의 데이터 수집·분석에서부터 다양한 AI 기반 수요관리 서비스 솔루션의 개발·확산까지 원스톱으로 지원하게 된다. 또한 수요관리 통합 플랫폼은 빅데이터, 데이터 처리·분석 소프트웨어, 서비스 솔루션 등 다양한 용도의 기술개발을 촉진하게 된다. 그리고 데이터, 기술 및 서비스 등 공급업체와 수요업체를 연결하는 거래시장의 역할도 수행하게 된다.

플랫폼이 구축·운영되면 철저한 데이터 관리 및 개인정보 보호 강화와 함께 지속적으로 양질의 데이터가 생산·수집·개방되는 데이터 생태계의 혁신이 기대된다. 또한 빅데이터의 처리·분석 알고리즘의 고도화와 신뢰성 향상으로 다양한 솔루션의 개발과 활용이 가능해진다. 이를 바탕으로 다양한 수요관리 서비스가 개발되어 새로운 비즈니스 모델이 생겨나게 될 것으로 기대된다. 이는 에너지 사용

의 최적화로 이어져 에너지 비용 절감과 온실가스 배출 감축을 가져오게 될 것이다. 따라서 수요관리 분야의 디지털화는 경제적・환경적 파급효과 측면에서 국민 체감도가 높은 분야라고 할 수 있다.

또한 IoT, AI 등 디지털 기술을 적용한 에너지 사용 제품(기기 및 설비)의 지능화가 촉진될 것으로 기대된다. 제품의 지능화는 소프트웨어 엔진 및 알고리즘을 사용하여 대량의 데이터를 처리·분석하여 소비자에게 에너지 사용에 대한 통찰력을 제공하게 된다. 플랫폼이 구축·운영되면 제조업체는 제품의 지능화(IoT·AI)와 기술개발에 소요되는 시간과 비용을 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 또한 플랫폼을 통해 제조업체는 자신의 니즈를 충족하는 기술 공급업체를 보다 쉽게 찾을 수 있게 된다. 플랫폼에 있는 상용 소프트웨어를 일정 사용료를 지불하고 활용할 수도 있다. 제품의 에너지 성능은 성장을 촉진하고 수익성을 높이기 위한 중요한 경쟁 차별화 요소이자 부가가치를 높일 수 있는 전략적 자산이 되어 가고 있다.

수요관리 플랫폼 구축과 운영은 개방형, 자발형, 통합형으로 구분하여 추진되어야 한다. 무엇보다 에너지 소비자, 에너지 서비스 업체, 정책 입안자, 제조업체, 에너지 공급자, 기술업체 등 정부와 민간분야의 다양한 이해관계자들의 협력(Collaboration)이 중요하다. 디지털 플랫폼은 클라우드를 기반으로 거대 플레이어조차도 모든 것을 단독으로 수행하는 것이 아니라 파트너와 제휴·협력하여 추진하는 특징을 보이고 있다. 정부의 전략적 지원, 이해관계자들의 적극적 참여, 다양한 니즈(Needs) 반영, 그리고 상호운용성이 있는 유연한 플랫폼 구축과 운영이 중요하다. 수요 데이터는 다른 데이터와 결합되고 융합되어야만 혁신을 이끌어내고 새로운 가치를 창출할 수 있는 특징을 가지고 있다.

4. 정책의 내실화와 실효성을 위한 중추적 역할 수행

지능형 에너지 수요자원 통합관리 플랫폼은 제3차 에너지기본계획의 에너지 전환을 위한 기반 구축계획과 그 궤를 같이하고 있다. 플랫폼 구축·운영을 통해 에너지 전환을 위한 기반 구축은 [그림 4-17]에 제시된 플랫폼 참여자들에 의해 자율적으로 활성화 될 것이다.[81]

또한, 6차 에너지 이용합리화 계획의 중점 추진과제인 실시간 모니터링·상향식 참여 기반 수요관리 강화 계획은 지능형 에너지 수요자원 통합관리 플랫폼 구축·운영을 통해 정책의 실행력이 한층 강화될 것이다. 수요관리의 디지털화 촉진은 플랫폼을 기반으로 한 디지털 데이터의 수집, 공유, 활용을 통한 新비즈니스 창출로 이어지며, 데이터 기반의 정책 평가·환류 시스템은 플랫폼 자체적으로 그 기능이 구현될 수 있다. 클라우드 기반 BEMS, FEMS를 통해 서비스 기능이 강화되고 수요관리가 지능화되어 소비자에게 편리성을 제공할 것이다.

탈탄소화, 디지털화, 분산화로 인하여 에너지 정책의 중심은 빠르게 에너지 수요관리로 옮겨갈 것이다. 탈탄소화의 핵심은 친환경에너지 정책으로의 전환이며, 이에 따라 분산에너지자원과 에너지효율자원의 중요성은 커지고 있다. 신재생에너지의 간헐성 문제에 대처하기 위해 수요자원의 필요성이 커지고 있다. 디지털화는 수요관

81) 제3차 에너지기본계획은 에너지 전환을 위한 기반 구축을 위하여 빅데이터, AI IoT 기술의 접목을 위해 민간기업(ICT 비에너지) R&D 참여 유도, 에너지산업-타사언간 융합을 촉진하는 인력양성, 에너지전황정책의 이행평가개선 에너지신사업 육성을 지원할 수 있는 통계의 내실화를 위하여 에너지 데이터 플랫폼 구축 등의 내용을 담고 있다. (제3차 에너지기본계획, p.101~103 내용을 정리)

리의 편리성을 높이고 다양한 관련 기술과 서비스의 출현으로 이어져 에너지 수요관리의 혁신을 이끌 것이며, 지능형 수요자원 통합관리 플랫폼이 핵심적인 역할을 담당할 것이다. 최근 한국전력공사는 산업단지에 스마트 에너지 플랫폼을 구축하여 디지털 기술과 그린 자원이 융합된 산업단지를 조성하는 사업계획을 발표하였다.[82] 이러한 변화는 한국판 뉴딜을 통하여 더욱 가속화될 전망이다. 지능형 에너지 수요자원 통합관리 플랫폼의 필요성은 더욱 증가하고, 플랫폼은 현실적으로 더욱 구체화되어 구축될 것이다. 지능형 에너지 수요자원 통합관리 플랫폼은 우리의 생각보다 훨씬 가까운 미래에 우리나라 에너지 수요관리의 중추적 역할을 담당할 것이다.

82) 한전, 산업단지 스마트에너지플랫폼 구축사업 참여, http://www.epj.co.kr/news/articleView.html?idxno=26309 (최종접속일: 2020.10.07).

참고문헌

<국내 문헌>

4차산업혁명위원회, 2018, 스마트시티 추진전략.

과학기술정보통신부 · 행정안전부 · 금융위원회 · 방송통신위원회 보도자료, 2018, 데이터를 가장 안전하게 잘 쓰는 나라를 만들겠습니다, ‘18.09.01.

곽승준, 유승훈, 신철오, 2001, 원자력연구개발사업의 사후평가를 위한 계층화 분석법(AHP)의 적용. 한국기술혁신학회 학술대회, 369-385.

관계부처 합동, 2019, 혁신성장 확산 · 가속화 전략, p.ii.

국토교통부 보도자료, 2020, 한국판 뉴딜, 스마트시티 통합플랫폼 보급 앞당긴다, ‘20.07.20.

기획재정부 보도자료, 2020, 한국판 뉴딜 종합계획, ‘20.07.14.

__________________, 2020, 김용범 1차관, ‘데이터 경제 활성화 TF’ 2차 회의 개최, ‘20.01.21.

박윤미, 2020, 동기화 사회, 디지털 트윈. 환경논총, 65, 15-25.

박지용, 이성인. 2020. 산업부문 전력 에너지효율 투자 행태분석 및 인센티브 개선방안. 에너지경제연구원, 기본보고서

이성인, 최도영. 2012. 저소비·고효율 경제사회구축을 위한 국가 에너지효율화추진전략 연구. 에너지경제연구원, 기본보고서, 10-20.

산업통상자원부 보도자료, 2019, 제3차 에너지기본계획 최종 확정

삼정KPMG 경제연구원, 2019, 에너지 산업의 디지털화가 가져올 미래.

__________________________, 2020, 구름 위의 혁신: 금융권을 중심으로 본 클라우드 활용.

손재호, 2019, AI 칩을 향한 무한경쟁, 시작되다.

이상학. (2016). 모니터링 기반 건물 에너지 커미셔닝 기술. 한국통신학회논문지, 41(7), 765-767.

유병구, 권선욱, 한세경., 2014, 실시간 기기 인식을 위한 Smart AMI의 개발. 대한전자공학회 학술대회, 1863-1866

정재승, 2018, E세종 스마트시티 기본구상안.

한국에너지공단, 2017,“건물에너지관리시스템(BEMS) 기반 에너지 운영관리 모델 개발”

한국전력경제연구원, 2018, KEMRI 전력경제 Rreview 제 18호 (2018), “글로벌 수요반응 운영현황 분석 및 전망”.

한전경제경영연구원, 2017, “KEPCO 에너지 플랫폼 개념 정립 및 Biz Model 추진 전략”, p.1, 2, 4.

혁신성장 관계부처 합동, 2019, “스마트 산단 표준모델 구축 및 선도 산단 실행계획”

KPMG, 2018, 데이터 중심의 도시 운영, Data-Driven 스마트 시티를 주목하라.

_______, 2019, “4차 산업혁명과 제조혁신 : 스마트 팩토리 도입과 제조업 패러다임 변화”.

_______, 2019, 에너지 산업의 디지털화가 가져올 미래.

<외국 문헌>

Astarios, B., Kaakeh, A., Lombardi, M., &Scalise, J. (2017). The f-uture of electricity: New technologies transforming the grid edge. World Economic, pp.5, 9

Deloitte, 2017, Industry 4.0 and the digital twin, p. 5, 8.

_______, 2017, “The smart factory : Responsive, adaptive, connected manufacturing”, pp. 5-12.

Edge Computing Consortium and Alliance of Industrial Internet, 2017, Edge Computing Reference Architecture 2.0, p. 43.

European Commission, 2017, Smart Building: Energy Efficiency ap-plication, p. 2.

Feng Qiu, 2018, A Resilient and Trustworthy Cloud and Outsourcing Security Framework for Power Grid Applications, p. 5.

Fitzgerald, G., &Nelder, C. (2017). EVgo fleet and tariff analysis. Rocky Mountain Inst., Tech. Rep.

GuideHouse, 2018, “Energy Cloud 4.0”, p.4.

IEA, 2016, World Energy Outlook 2016

____, 2017, Digitalization & Energy.

____, 2019, Energy Efficiency 2019.

King, J., & Perry, C. (2017). Smart buildings: Using smart technol-ogy to save energy in existing buildings. Amercian Council for an Energy-Efficient Economy.

Lyons, L. (2019). Digitalisation: Opportunities for heating and cooling. Publications Office of the European Union: Luxembourg. pp. 38.

Marmolejo-Saucedo, J., & Hartmann, S. (2020). Trends in digitization of the supply chain: A brief literature review. EAI Endorsed Transactions on Energy Web, 7(29).

Michael H. Gilbert, 2017, “The Utility Business Transformation REV-New York”.

Mohamed, N., Al-Jaroodi, J., Lazarova-Molnar, S., 2019. Leveraging the Capabilities of Industry 4.0 for Improving Energy Efficiency in Smart Factories. IEEE Access 7, 18008–18020.

Nimbalkar, S., Guo, W., Petri, C., Cresko, J., Graziano, D. J., Morrow III, W. R., & Wenning, T. (2017). Smart Manufacturing Technologies and Data Analytics for Improving Energy Efficiency in Industrial Energy Systems. Proceedings of the American Council for Energy Efficient Economy, Denver, CO, USA, 15-18.

Orme B. 2010. Sample size issues for conjoint analysis studies. Sequim: Sawtooth Software Technical Paper

PwC, 2017, “Use Cases for Blockshain Technology in Energy & Commodity Trading”, p. 5~10.

Rangone, A. (1996). An analytical hierarchy process framework for comparing the overall performance of manufacturing departments. International Journal of Operations & Production Management.

Rogers, E., Elliott, R. N., Kwatra, S., Trombley, D., & Nadadur, V.

(2013). Intelligent efficiency: opportunities, barriers, and solutions. American Council for an Energy-Efficient Economy, Report E13J.

Train, K, 2009, Discrete Choice Methods with Simulation, Cambridge University Press

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY(2015), “Barriers to Industrial Energy Efficiency”

Wang, J., Zhong, H., Ma, Z., Xia, Q., & Kang, C. (2017). Review and prospect of integrated demand response in the multi-energy system. Applied Energy, 202, pp. 774.

Wind, Y., & Saaty, T. L. (1980). Marketing applications of the analytic hierarchy process. Management science, 26(7), 641-658.

World Economic Forum (2017). Digital Transformation Initiative Chemistry and Advanced Materials Industry

<웹사이트>

미에너지부 그린버튼, https://www.energy.gov/data/green-button(최종접속일 : 2020.10.09.)

‘에너지데이터 플랫폼’ 비즈니스모델에 대한 이해와 사례 http://www.hellot.net/new_hellot/magazine/magazine_read.html?code=203&sub=003&idx=46318 (최종접속일 :2020.10.14.)

에너지신문(2019.1.8.). 정부, ‘에너지효율 혁신전략’ 수립한다 http://www.energy-news.co.kr/news/articleView.html?idxno=61311 (최종접속일: 2020.10.05.)

한전, 산업단지 스마트에너지플랫폼 구축사업 참여 http://www.epj.co.kr/news/articleView.html?idxno=26309 (최종접속일: 2020.10.07.)

한국에너지공단 홈페이지 효율등급제도 개요. http://eep.energy.or.kr/business_introduction/effi_summary.aspx (최종접속일: 2020.10.07.)

한국전력공사 홈페이지 효율향상기기, https://home.kepco.co.kr/kepco/CY/K/htmlView/CYKHHP001.do?menuCd=FN020710 (최종접속일: 2020.10.08.)

BloombergNEF Digitalization of Energy Systems, https://about.bnef.com/blog/digitalization-energy-systems/ (최종접속일 : 2020.10.12.)

DeepMind, https://deepmind.com/blog/deepmind-ai-reduces-google-data-centre-cooling-bill-40/ (최종접속일: 2019.10.9.)

Gartner:https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/platform-as-a-service-paas, (최종접속일 2020.10.28.)

Harvard Business Review, https://hbr.org/2016/04/pipelines-platforms-and-the-new-rules-of-strategy (최종접속일 :2020.10.14.)

Henrik von Scheel Industry 4.0 originator, http://von-scheel.com/industry40/ (최종접속일: 2020.10.07.)

LEANHEAT, https://leanheat.com/ (최종접속일: 2019.10.9.)

Ron Lowman, https://www.synopsys.com/designware-ip/technical-bulletin/ai-edge-computing-5g-iot.html, (최종접속일 : 2020.11.02.)

XBRL, https://www.xbrl.org/ (최종접속일: 2020.10.07.)

부록. 설문지

EMS(Energy Management System) 기술기반 수요관리 서비스의 소비자 선호 분석 및 활성화 방안 모색을 위한 설문

안녕하십니까? 귀하의 평안과 무궁한 발전을 기원합니다.

에너지경제연구원, 고려대학교, 한국능률협회컨설팅은 "4차 산업혁명 시대 대응 중장기 에너지효율관리 발전 방안 연구" 과제를 수행하고 있습니다. 본 설문은 에너지 효율투자 활성화를 위한 4차 산업혁명 기술기반 에너지관리시스템 소비자 선호도를 분석하는 설문입니다.

에너지관리시스템(EMS: Energy Management System)이란, 건축물의 에너지 사용을 모니터링 및 최적화하여 효율적인 관리방안을 제공하는 계측・제어・관리・운영 등이 통합된 시스템입니다. EMS에 4차 산업기술을 적용하여 EMS의 보급과 시장 활성화 방안 도출에 목적이 있습니다.
본 설문은 크게 3가지 파트로 설문이 구성되어있습니다.
1. 응답자의 건물정보와 에너지관리현황을 조사하는 기초설문입니다.
2. 향후 4차 산업기술이 활용된 EMS에 대한 선호를 조사하는 설문입니다.
3. 4차 산업기술을 활용한 효율적인 에너지 관리를 위해 고려해야 할 장애요인을 조사하는 설문입니다.

조사의 응답내용은 통계법 제33조(비밀의 보호)와 개인정보 보호법 제19조(개인정보를 제공받은 자의 이용・제공 제한)의 규정에 따라 본 연구의 통계작성 목적 외의 용도로는 절대 활용되지 않습니다.

귀하의 적극적인 협조와 정확한 답변을 거듭 부탁드립니다.

감사합니다.

1	응답자 및 건물정보 설문조사

응답자 및 건물정보

건물명(준공년도)				
주소				
성명			연락처	
연매출 (2019년 기준)		원	연간 에너지 비용 (2019년 기준)	원
주요 에너지원			연면적	㎡
기업규모		① 대기업 ② 중견기업 ③ 중소기업	층수	지상, 층 지하, 층
건축물 (BEMS) ① 있음 ② 없음	용도	※해당 사항에 체크해주시면 됩니다. (중복 가능) ① 공공시설 ② 교육연구시설 ③ 업무시설 ④ 숙박시설 ⑤ 문화및집회시설 ⑥ 의료시설 ⑦ 판매시설 ⑧ 기타		
	평균 상주인원	명		
공장 (FEMS) ① 있음 ② 없음	업종	※해당 사항에 체크해주시면 됩니다. (중복 가능) ① 금속 ② 섬유•의복 ③ 음식료 ④ 기계•장비 ⑤ 목재•종이•가구 ⑥ 석유화학 ⑦ 전기•전자 ⑧ 기타		
	운영시간	① 매일 ② 평일 주간 ③ 평일 야간 ④ 주말 주간 ⑤ 주말 야간 ① 4시간 ② 6시간 ③ 8시간 ④ 12시간 ⑤ 18시간 ⑥ 24시간		
	종사자수	명		

2	EMS 현황 및 만족도 조사

다음은 기존 EMS의 현황 및 만족도 조사를 위한 설문입니다. 본 설문은 EMS 운영환경과 장애요인을 중점으로 문항이 구성되어 있습니다. 아래 질문과 선택지에 대해 현재 EMS 사용자입장에서 해당 조건에 가장 알맞은 보기라고 판단되시는 것을 선택해주시면 됩니다.

에너지관리 일반현황

1. 귀사는 에너지관리시스템(EMS)을 설치 시 어느 정도의 구축비용을 지불하셨습니까?

① 1억 원 이하
② 1억 원 이상 2억 원 이하
③ 2억 원 이상 5억 원 이하
④ 5억 원 이상 8억 원 이하
⑤ 8억 원 이상

2. 에너지관리시스템(EMS)을 구축 시 지원 및 보조금을 받으셨습니까?

① 예 ② 아니오

3. 어떤 지원 및 보조금을 받으셨습니까?

① ESCO
② 정부보조금
③ 금융권
④ 해당없음

4. 귀사에 사용하고 있는 에너지관리시스템(EMS)의 에너지 절감률은 어느 정도입니까? (연간 에너지 사용량 기준)

① 0~5% ② 5~10% ③ 10~20% ④ 20~30% ⑤ 30% 이상

5. 현재 귀사에 사용하고 있는 에너지관리시스템(EMS)을 도입한 주요한 이유는 무엇입니까?

① 에너지 비용 절감과 관리 효율화
② 단순 모니터링 및 감시
③ 생산성 향상
④ 기업 이미지 제고
⑤ 국가 시행정책

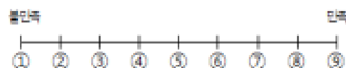
EMS 관리 대상

6. 다음은 귀사의 주요 에너지 설비 및 그 설비들에 대한 에너지시스템 활용여부입니다. **(복수 응답 가능)**

건물(BEMS) 관련			공장(FEMS) 관련		
설비	유무	에너지시스템을 통한 관리여부	설비	유무	에너지시스템을 통한 관리여부
조명설비	☐	☐	메인 공정	☐	☐
냉난방설비	☐	☐	에어 콤프레서/압축기	☐	☐
공조기	☐	☐	조명/전열/공조기	☐	☐
열원설비	☐	☐	스팀기	☐	☐
신재생	☐	☐	보일러/냉동기	☐	☐
사무용 기기	☐	☐	가류기/유압	☐	☐
	☐	☐	사무용 기기	☐	☐

EMS 만족도

7. 귀사의 에너지관리시스템 만족도는 어느 정도라고 생각하십니까?



8. 만족도 관련 기타 의견이 있을 시, 아래에 자유롭게 기술하여 주시기 바랍니다.

9. 귀사의 에너지 관리시스템에 불만족의 이유가 무엇입니까?

① 에너지 절감에 큰 효과가 없음
② 높은 설치비용
③ 제공되는 정보 및 기능이 다양하지가 않음
④ 운영에 효율적이지 않음
⑤ 복잡하고 까다로운 구조
⑥ 기타(______________________)

10. 불만족한 에너지 관리시스템의 기능은 무엇입니까 **(복수 응답 가능)**

기능	해당		전혀 그렇지 않다 / 보통이다 / 정말 그렇다
① 계측기능	□	실시간 계측이 불가능	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨
		계측능력이 떨어짐	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨
		계측대상이 한정	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨
② 통신기능	□	네트워크 끊김	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨
		정보 수신 지연	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨
		좁은 통신 범위	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨
③ 분석기능	□	단순 분석만 가능	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨
		결과에 대한 낮은 신뢰도	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨
		미흡한 데이터 관리	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨
④ 제어기능	□	작동이 복잡하고 까다로움	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨
		상황에 따른 대응능력 미흡	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨
		동시제어 불가능	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨

11. 기능을 어떤 식으로 보완했으면 좋겠습니까?

기능	해당	전혀 그렇지 않다 / 보통이다 / 정말 그렇다
① 계측기능	실시간 모니터링이 가능한 계측기로 교체	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨
	다양한 기능이 업그레이드된 계측기로 교체	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨
	기타 의견:	
② 통신기능	5G 등 차세대 이동통신망으로 업데이트	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨
	통신 장치 및 설비를 개선	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨
	비상 인트라넷 구축	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨
	기타 의견:	
③ 분석기능	정밀분석기능과 예측	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨
	알고리즘 보완으로 높은 신뢰도 도출	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨
	클라우드 기반 데이터 관리	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨
	기타 의견:	
④ 제어기능	제어 담당 전문 인력 배치	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨
	인공지능을 통한 자율제어	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨
	기타 의견:	

12. 귀사의 에너지관리시스템 운영에서 가장 큰 문제점은 무엇이라고 생각하십니까?
① 지속적인 운영을 위한 전문인력 부재
② 에너지 정보 및 관리 도구 제공 미흡
③ 높은 비용 및 낮은 투자회수율
④ 에너지 관리에 대한 부족한 인식
⑤ 기타(________________________)

13. 현재 사용하고 있는 에너지관리시스템에서 추가로 도입하고 싶은 기능은 무엇입니까?
① 원하는 에너지 정보 도출 및 분석
② 실시간으로 관리 대상을 모니터링
③ 에너지관리시스템을 원격 및 자동으로 제어
④ 에너지 관리 운영 중에 발생하는 고장 진단 및 대응
⑤ 기타(________________________)

14. 효과적인 에너지관리시스템에 운영에 필요한 정부의 지원 및 제도가 무엇이라고 생각하십니까?
① 에너지관리사업과 전문인력 육성에 적극적인 투자
② 에너지관리시스템 구축 시 지원 및 혜택
③ 에너지관리시스템 운영규정 표준화
④ 에너지관리시스템 보급 확대 및 시장 활성화
⑤ 기타(________________________)

EMS 관리 및 비용

15. 귀사는 EMS 운용에 대한 에너지 관리자가 있습니까?
① 전문 관리자 있음
② 타업무 병행하는 관리자 있음
③ 외부 관리자에 위탁
④ 없음

16. 귀사는 EMS 관리를 어떤 방법으로 수행합니까?
① 엑셀 활용
② 귀사 웹페이지 활용
③ 별도의 에너지관리 프로그램 활용
④ 없음
⑤ 기타(________________________)

17. 귀사는 어느 정도의 에너지 절감을 원하십니까? (연간 에너지 사용량 기준)
① 10% 이내 ② 10~20% ③ 20~30% ④ 30% 이상

18. 귀사는 향후 신규 에너지관리시스템 및 에너지효율 투자에 어느 정도의 비용을 지불의향이 있으십니까?
① 연간 에너지비용의 20%
② 연간 에너지비용의 40%
③ 연간 에너지비용의 60%
④ 연간 에너지비용의 80%
⑤ 연간 에너지비용의 100%

19. **문18번**의 비용지불에 부정적인 이유가 있다면 무엇입니까?
① 높은 구축비용 및 유지비용
② 자금조달의 어려움
③ 투자대비회수 장기화
④ 해당없음
⑤ 기타(________________________)

20. 에너지관리시스템(EMS)과 관련하여 **기타 건의 및 제안사항**이 있으시다면, 자유롭게 작성해주시길 바랍니다.

본 설문은 향후 4차 산업기술이 활용된 EMS 및 기능들에 대한 선호를 조사하는 설문입니다.

귀하의 적극적인 협조와 정확한 답변을 거듭 부탁드립니다.

감사합니다.

1	4차 산업기술을 활용한 에너지 효율투자 활성화 관련 속성 및 수준

먼저, 다음 설명문을 숙지하신 후 질문에 응답해 주십시오.

현재 귀하께서는 EMS를 사용하거나 도입예정이십니다.

4차 산업혁명 기술과 EMS를 활용하여 아래의 속성의 조합으로 효율향상 및 관련 서비스가 제공됩니다.

아래는 속성에 대한 설명과 각 속성의 수준을 설명한 표입니다.

1. 4차 산업기술을 활용 EMS를 통한 에너지효율향상 투자를 위해서는 기존 기기 및 설비에 센서를 연결하거나, Wi-Fi 기능 등 통신 및 제어가 가능하기 신규 기기 및 설비가 필요합니다.
2. 이렇게 구축된 시스템의 에너지 절감 등 최적화 구현 및 유지보수를 위해서는 에너지 관리방안이 필요하며, 그 방식에는 1) 자체인력 활용, 2) 외부 위탁 업체 활용, 3) 클라우드 기반 서비스 활용의 세 가지 방식이 있습니다.
3. EMS를 통하여 기기 및 설비를 제어하는 방식에는 사용자가 IOT를 활용하여 원격제어를 할 수 있는 기능 등을 포함하는 수동제어 방식과 빅데이터, 인공지능 등을 활용한 자동제어 방식 두 가지가 있습니다.
4. 4차 산업기술을 활용 EMS를 통한 에너지효율향상에는 기존보다 강화된 계측 및 통신, 모니터링 및 분석 제어기능을 통하여 에너지효율 개선이 될 것입니다.

속성	설명 및 수준
도입방식	4차 산업기술과 EMS 적용 에너지 효율향상을 위한 투자 방식
	1. 기존 기기 및 설비에 센서를 연결 2. 고효율 설비 교체 및 업그레이드
구축비용	에너지 효율 투자에 지출되는 초기 투자비용
	1. 현재 연간 에너지 지출금액의 50% 2. 현재 연간 에너지 지출금액의 100% 3. 현재 연간 에너지 지출금액의 150% 4. 현재 연간 에너지 지출금액의 200%
에너지 절감률	신규 효율관련 기기 및 서비스 도입 이후 예상되는 에너지 사용량 절감률
	1. 연간 에너지 사용량의 5% 절감 2. 연간 에너지 사용량의 10% 절감 3. 연간 에너지 사용량의 15% 절감
EMS 관리방식	EMS 유지관리를 위한 방안
	1. 자체 인력을 통한 관리 2. 위탁 업체를 통한 관리 3. 클라우드 서비스를 통한 관리
제어방식	EMS를 통한 기기 및 설비 제어방식은 다음과 같은 2가지 방식이 있습니다.
	1. 수동제어 방식(IOT 등의 원격제어) 2. 전체 설비 자동(인공지능)
주요 신기능	EMS에 포함되어야 할 주요 신기능
	1. 계측 및 통신 문제 해결 2. 모니터링 및 분석역량 강화 3. 제어기능 강화

2	4차 산업기술을 활용한 에너지 효율투자 활성화 관련 속성 및 수준

지금부터 설명 드린 속성 6개를 조합하여 구성한 가상의 **에너지 효율개선 유형 선호도 질문이 9개가 제시**됩니다.

① 귀하께서는 동시에 제시한 3개의 에너지 효율개선 **유형 선호 순위를 1위부터 3위까지 응답**해 주시고,

② 현재 상태 유지(참여 안함)가 포함된 4개의 유형 중, **가장 선호하는 유형 하나에 O표**해 주시면 됩니다.

※ 제시한 3개의 에너지 효율개선 관련 속성 이외의 **다른 모든 속성은 서로 동일한 것으로 가정**하고 응답해 주십시오.

에너지효율투자 선호유형 질문 01				
	유형 A	유형 B	유형 C	비선택
도입방식	기존 설비에 센서 연결	기존 설비에 센서 연결	고효율 설비 교체 및 업그레이드	선호하는 유형 없음
구축비용 (현재 연간 에너지 지출비용 기준)	60%	40%	60%	
에너지 절감률	10% 절감	15% 절감	20% 절감	
EMS 관리방식	자체 인력 활용	위탁 업체 활용	클라우드 서비스	
제어방식	수동제어	수동제어	자동제어	
주요 신기능	계측 및 통신 문제 해결	모니터링 및 분석역량 강화	계측 및 통신 문제 해결	
① 1위부터 3위까지 선호 순위 응답란	☐ 위	☐ 위	☐ 위	
② 1위 선호 유형 응답란 (하나에 O표)	유형 A	유형 B	유형 C	비선택

에너지효율투자 선호유형 질문 02				
	유형 A	유형 B	유형 C	비선택
도입방식	기존 설비에 센서 연결	고효율 설비 교체 및 업그레이드	고효율 설비 교체 및 업그레이드	선호하는 유형 없음
구축비용 (현재 연간 에너지 지출비용 기준)	100%	80%	60%	
에너지 절감률	15% 절감	15% 절감	10% 절감	
EMS 관리방식	클라우드 서비스	자체 인력 활용	위탁 업체 활용	
제어방식	자동제어	수동제어	수동제어	
주요 신기능	제어기능 강화	제어기능 강화	계측 및 통신 문제 해결	
① 1위부터 3위까지 선호 순위 응답란	☐ 위	☐ 위	☐ 위	
② 1위 선호 유형 응답란 (하나에 O표)	유형 A	유형 B	유형 C	비선택

에너지효율투자 선호유형 질문 03

	유형 A	유형 B	유형 C	비선택
도입방식	고효율 설비 교체 및 업그레이드	기존 설비에 센서 연결	고효율 설비 교체 및 업그레이드	선호하는 유형 없음
구축비용 (현재 연간 에너지 지출비용 기준)	80%	60%	100%	
에너지 절감률	15% 절감	20% 절감	20% 절감	
EMS 관리방식	위탁 업체 활용	자체 인력 활용	위탁 업체 활용	
제어방식	수동제어	수동제어	자동제어	
주요 신기능	제어기능 강화	계측 및 통신 문제 해결	제어기능 강화	
① 1위부터 3위까지 선호 순위 응답란	□ 위	□ 위	□ 위	
② 1위 선호 유형 응답란 (하나에 ○표)	유형 A	유형 B	유형 C	비선택

에너지효율투자 선호유형 질문 04

	유형 A	유형 B	유형 C	비선택
도입방식	기존 설비에 센서 연결	기존 설비에 센서 연결	고효율 설비 교체 및 업그레이드	선호하는 유형 없음
구축비용 (현재 연간 에너지 지출비용 기준)	60%	80%	80%	
에너지 절감률	10% 절감	10% 절감	15% 절감	
EMS 관리방식	자체 인력 활용	클라우드 서비스	클라우드 서비스	
제어방식	자동제어	수동제어	수동제어	
주요 신기능	제어기능 강화	모니터링 및 분석역량 강화	계측 및 통신 문제 해결	
① 1위부터 3위까지 선호 순위 응답란	□ 위	□ 위	□ 위	
② 1위 선호 유형 응답란 (하나에 ○표)	유형 A	유형 B	유형 C	비선택

에너지효율투자 선호유형 질문 05				
	유형 A	유형 B	유형 C	비선택
도입방식	고효율 설비 교체 및 업그레이드	고효율 설비 교체 및 업그레이드	기존 설비에 센서 연결	선호하는 유형 없음
구축비용 (현재 연간 에너지 지출비용 기준)	100%	40%	80%	
에너지 절감률	20% 절감	10% 절감	20% 절감	
EMS 관리방식	자체 인력 활용	위탁 업체 활용	클라우드 서비스	
제어방식	수동제어	수동제어	자동제어	
주요 신기능	제어기능 강화	계측 및 통신 문제 해결	모니터링 및 분석역량 강화	
① 1위부터 3위까지 선호 순위 응답란	위	위	위	
② 1위 선호 유형 응답란(하나에 O표)	유형 A	유형 B	유형 C	비선택

에너지효율투자 선호유형 질문 06				
	유형 A	유형 B	유형 C	비선택
도입방식	기존 설비에 센서 연결	기존 설비에 센서 연결	고효율 설비 교체 및 업그레이드	선호하는 유형 없음
구축비용 (현재 연간 에너지 지출비용 기준)	80%	60%	40%	
에너지 절감률	20% 절감	15% 절감	10% 절감	
EMS 관리방식	위탁 업체 활용	자체 인력 활용	클라우드 서비스	
제어방식	수동제어	자동제어	수동제어	
주요 신기능	제어기능 강화	계측 및 통신 문제 해결	제어기능 강화	
① 1위부터 3위까지 선호 순위 응답란	위	위	위	
② 1위 선호 유형 응답란(하나에 O표)	유형 A	유형 B	유형 C	비선택

에너지효율투자 선호유형 질문 07				
	유형 A	유형 B	유형 C	비선택
도입방식	기존 설비에 센서 연결	고효율 설비 교체 및 업그레이드	고효율 설비 교체 및 업그레이드	선호하는 유형 없음
구축비용 (현재 연간 에너지 지출비용 기준)	80%	80%	100%	
에너지 절감률	15% 절감	20% 절감	20% 절감	
EMS 관리방식	자체 인력 활용	자체 인력 활용	클라우드 서비스	
제어방식	수동제어	자동제어	수동제어	
주요 신기능	제어기능 강화	모니터링 및 분석역량 강화	계측 및 통신 문제 해결	
① 1위부터 3위까지 선호 순위 응답란	위	위	위	
② 1위 선호 유형 응답란 (하나에 O표)	유형 A	유형 B	유형 C	비선택

에너지효율투자 선호유형 질문 08				
	유형 A	유형 B	유형 C	비선택
도입방식	고효율 설비 교체 및 업그레이드	고효율 설비 교체 및 업그레이드	고효율 설비 교체 및 업그레이드	선호하는 유형 없음
구축비용 (현재 연간 에너지 지출비용 기준)	40%	60%	60%	
에너지 절감률	20% 절감	20% 절감	15% 절감	
EMS 관리방식	자체 인력 활용	자체 인력 활용	클라우드 서비스	
제어방식	수동제어	자동제어	수동제어	
주요 신기능	제어기능 강화	모니터링 및 분석역량 강화	제어기능 강화	
① 1위부터 3위까지 선호 순위 응답란	위	위	위	
② 1위 선호 유형 응답란 (하나에 O표)	유형 A	유형 B	유형 C	비선택

에너지효율투자 선호유형 질문 09				
	유형 A	유형 B	유형 C	비선택
도입방식	고효율 설비 교체 및 업그레이드	기존 설비에 센서 연결	기존 설비에 센서 연결	선호하는 유형 없음
구축비용 (현재 연간 에너지 지출비용 기준)	60%	100%	80%	
에너지 절감률	10% 절감	15% 절감	10% 절감	
EMS 관리방식	위탁 업체 활용	클라우드 서비스	자체 인력 활용	
제어방식	수동제어	자동제어	자동제어	
주요 신기능	모니터링 및 분석역량 강화	모니터링 및 분석역량 강화	제어기능 강화	
① 1위부터 3위까지 선호 순위 응답란	위	위	위	
② 1위 선호 유형 응답란 (하나에 ○표)	유형 A	유형 B	유형 C	비선택

본 설문을 통해 4차 산업 기술을 활용한 에너지 효율투자 관련 기술 도입 및 확산을 가로막는 장애요인에 대한 우선순위를 선정하고자 합니다.

아래 주요 장애요인의 개념 및 정의와 설문 진행방법을 참고하셔서 설문에 답변하여 주시길 바랍니다. 설문결과는 추후 계층분석법(AHP)으로 분석되어 4차 산업 기술을 활용한 에너지 효율투자 활성화를 위해 고려해야 할 장애요인들을 파악하여 정책 방향 설정에 활용할 계획입니다. 본 설문이 성공적으로 마무리될 수 있도록 여러분의 적극적인 참여와 협조를 부탁드립니다.

감사합니다.

1	4차 산업기술을 활용한 에너지 효율투자 활성성화 관련 장애요인

먼저, 귀하의 본 조사에 대한 이해를 돕기 위해 4차 산업기술을 활용한 **에너지 효율투자 결정에 영향을 끼치는 장애요인에 대한 설명**을 제시하였습니다. 다음 제시한 설명을 숙지하신 후 본 질문에 응답해 주시기 바랍니다.

대항목	소항목	설명
정보적 측면	설비 정보 부족	① 에너지 절감 고효율기기 · 설비 관련 정보 부족
	신뢰성 정보 부족	② 절감효과 신뢰도 · 정확도에 대한 정보 부족 (성공 · 실패 등 설치 및 활용사례)
	경제성 근거 부족	③ 경제성 판단근거에 대한 정보 부족 (에너지효율 투자에 대한 판단기준)
기술적 측면	기술수단 부족	① 사업장 또는 건물에 적합한 효율향상 설비 및 기술 수단의 부족
	생산의 위험성	② 신규 기기 및 설치 설비 시 발생할 수 있는 생산 · 가동중단 등 위험성
	절감효과 미비	③ 에너지 효율투자로 발생되는 투자대비 절감효과 미비
경제적 측면	높은 초기투자비용	① 높은 초기투자비용 발생으로 인한 부담
	자금조달의 어려움	② 투자자금 조달 등 재원마련의 어려움 (대출지원 등 자본에 대한 접근성)
	투자비회수 장기화	③ 투자대비 에너지 절감효과 미비로 인하여 발생하는 투자비 회수의 장기화
정책적 측면	지원책 부족	① 보조금 · 융자지원 등 지원책 부족 (효율향상 투자 유인 및 규제 부족 등의 투자환경)
	복잡성 및 접근성	② 절차의 복잡성 및 제한적인 접근성
	기초인프라 부족	③ 기술개발(R&D), 전문인력 양성 교육 등의 기초인프라 지원 부족
기업 내부적 측면	낮은 우선순위	① 효율향상 투자 및 개선의 낮은 우선순위
	경영진 및 임원진의 관심부족	② 최고경영자 또는 임원진의 에너지효율 투자에 대한 관심 부족
	사내 전문가 부족	③ 담당 인력 및 전문가 부족

2	설문 진행 방법

○ 본 연구는 고려요인의 가중치를 도출하기 위하여 『쌍대비교』 하는 방법을 사용하고 있습니다. 이것은 A와 B의 두 요인에 대한 상대적인 중요도 차이를 비교함으로서 이들 쌍대비교를 모아 전체 요인 간의 차이를 규명하는 방법입니다. 본 설문지의 진행은 아래의 예를 보시고 동일한 방법으로 진행해주시면 됩니다.

(예) 돼지고기나 소고기를 선택할 때 가격과 맛BE의 상대적인 중요도를 비교하려 합니다. 해당되는 중요도를 빨간색으로 표기해주십시오.

※ 가격이 맛에 비해 확실하게 선호된다고 판단하실 때의 예시

평가항목	절대선호		매우선호		선호		약간선호		같다		약간선호		선호		매우선호		절대선호	평가항목
가격	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	맛

○ (중요도의 정의)

1 : 고기를 선택함에 있어서 가격과 맛이 비슷한 선호도를 가진다.

3 : (좌측) 고기를 선택함에 있어서 가격이 맛에 비해 **약간** 선호된다.

5 : (좌측) 고기를 선택함에 있어서 가격이 맛에 비해 **확실하게** 선호된다.

7 : (좌측) 고기를 선택함에 있어서 가격이 맛에 비해 **매우** 선호된다.

9 : (좌측) 고기를 선택함에 있어서 가격이 맛에 비해 **절대** 선호된다.

3 : (우측) 고기를 선택함에 있어서 맛이 가격에 비해 **약간** 선호된다.

5 : (우측) 고기를 선택함에 있어서 맛이 가격에 비해 **확실하게** 선호된다.

7 : (우측) 고기를 선택함에 있어서 맛이 가격에 비해 **매우** 선호된다.

9 : (우측) 고기를 선택함에 있어서 맛이 가격에 비해 **절대** 선호된다.

2, 4, 6, 8 : 인접한 두 중요도 사이의 중간값

다음 페이지부터 앞서 설명 드린 항목 간 **중요도 순위와 2개 항목 간 상대 중요도를** 묻는 질문이 제시됩니다. 귀하께서는 각 질문에 일관성 있는 응답을 위해 **중요도 순위를 먼저 응답해 주시고, 응답하신 내용을 기준으로 2개 항목 간 상대 중요도**에 응답해 주시면 됩니다.

※ 2개 항목 간 상대 중요도 응답시 주의사항

만약, 중요도 순위 1위 항목은 2위 항목 보다 ③ 약간 중요라고 응답하셨다면, 1위 항목은 3위 항목 보다 ③ 약간 중요 이상으로 응답하셔야 **답변의 일관성을 유지**할 수 있습니다.

▣ 응답 예시 : 활용 수준 > 준비 수준 > 효과 수준 순으로 중요하다고 응답함

문2-1. 준비 수준, 활용 수준 및 효과 수준 중, 스마트워크 지수 수준을 결정하는데, 중요하다고 생각하시는 순서대로 **1위부터 3위까지 순위를 응답**해 주십시오.

요 인	순 위
준비 수준	(2 위)
활용 수준	(1 위)
효과 수준	(3 위)

문2-2. 다음은 앞서 평가하신 3개 요인(수준)에 대해 **한 요인이 다른 요인 대비 어느 정도 중요 한지** 평가하는 질문입니다. 앞서 평가하신 순위 응답을 바탕으로 다음 3개의 질문에 응답해 주십시오.

평가항목	중요 ◀ 절대 중요		매우 중요		중요		약간 중요		같음	약간 중요		중요		매우 중요		절대 중요 ▶ 중요		평가항목
준비 수준	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	⓪	①	(②)	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	활용 수준
준비 수준	⑧	⑦	⑥	⑤	(④)	③	②	①	⓪	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	효과 수준
활용 수준	⑧	⑦	(⑥)	⑤	④	③	②	①	⓪	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	효과 수준

준비는(2위) 효과(3위) 대비 중요!

활용은(1위) 준비(2위) 대비 약간 중요!

활용(1위) 효과(3위) 대비 매우 중요!

3	설문 : 상위 고려요인

○ 다음 설문은 4차 산업기술을 활용한 에너지효율 투자 장애요인 중, 대 항목 요인에 대한 질문입니다.

대항목	설명
정보적 측면	설비 정보 부족, 신뢰성 정보 부족, 경제성 근거 부족으로 구성된 장애요인
기술적 측면	기술수단 부족, 생산의 위험성, 절감효과 미비로 구성된 장애요인
경제적 측면	높은 초기투자비용, 자금조달의 어려움, 투자비회수 장기화로 구성된 장애요인
정책적 측면	지원책 부족, 복잡성 및 접근성, 기초인프라 부족으로 구성된 장애요인
기업 내부적 측면	낮은 우선순위, 경영진 및 임원진의 관심부족, 사내 전문가 부족으로 구성된 장애요인

○ 다음 정보적, 기술적, 경제적, 정책적, 기업 내부적 측면의 장애 요인중, 4차 산업기술을 활용한 에너지효율 투자를 저해하는 장애요인을 순서대로 1위부터 5위까지 순위를 응답해 주십시오.

요 인	순 위
정보적 측면	(_____ 위)
기술적 측면	(_____ 위)
경제적 측면	(_____ 위)
정책적 측면	(_____ 위)
기업 내부적 측면	(_____ 위)

○ 위 에너지효율 투자 활성화를 위한 장애요인 우선순위 선정 기준 [상위 고려요인]에 대해 설문 진행방법을 참조하여 알맞은 상대적 중요도를 표기하여 주십시오. (총 10문항)

평가항목	← 중요								같음	중요 →								평가항목
	절대 중요		매우 중요		중요		약간 중요			약간 중요		중요		매우 중요		절대 중요		
정보적 측면	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	⓪	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	기술적 측면
정보적 측면	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	⓪	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	경제적 측면
정보적 측면	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	⓪	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	정책적 측면
정보적 측면	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	⓪	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	기업 내부적 측면
기술적 측면	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	⓪	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	경제적 측면
기술적 측면	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	⓪	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	정책적 측면
기술적 측면	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	⓪	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	기업 내부적 측면
경제적 측면	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	⓪	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	정책적 측면
경제적 측면	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	⓪	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	기업 내부적 측면
정책적 측면	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	⓪	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	기업 내부적 측면

4	설문 : 하위 고려요인 [총 15문항]

정보적 측면의 장애요인(하위 고려요인 3개 : 3 문항)

○ 다음 설문은 상위 고려요인 중의 하나인 정보적 측면 장애요인의 하위 고려요인들 간의 상대적 중요도를 평가하기 위한 것입니다.

☞ 여기서 정보관련 장애요인이란 정보의 문제로 인하여 에너지 효율투자를 가로 막는 장애요인을 의미하며, 이에 영향을 미치는 요인으로는 ① **에너지 절감 고효율기기 · 설비 관련 정보 부족**, ② **절감효과 신뢰도 · 정확도 부족**, ③ **경제성 판단근거에 대한 정보 부족**이 있습니다.

대항목	소항목	설명
정보적 측면	설비 정보 부족	① 에너지 절감 고효율기기 · 설비 관련 정보 부족
	신뢰성 정보 부족	② 절감효과 신뢰도 · 정확도에 대한 정보 부족 (성공 · 실패 등 설치 및 활용사례)
	경제성 근거 부족	③ 경제성 판단근거에 대한 정보 부족 (에너지효율 투자에 대한 판단기준)

○ 다음 정보적측면의 장애 요인중, 4차 산업기술을 활용한 에너지효율 투자를 저해하는 장애요인 중 설비 정보 부족, 신뢰성 정보 부족, 경제성 근거 부족을 순서대로 1위부터 3위까지 순위를 응답해 주십시오.

요 인	순 위
설비 정보 부족	(_____ 위)
신뢰성 정보 부족	(_____ 위)
경제성 근거 부족	(_____ 위)

○ 다음은 앞서 제시한 3개 요인을 2개씩 묶어 상대 중요도를 평가하는 질문입니다. 어느 요인이 다른 요인 대비 어느 정도 중요한지 앞서 평가하신 순위 응답을 바탕으로 각각 응답해 주십시오.

평가항목	◀ 중요								같음	중요 ▶								평가항목
	절대 중요		매우 중요		중요		약간 중요			약간 중요		중요		매우 중요		절대 중요		
설비 정보 부족	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	⓪	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	신뢰성 정보 부족
설비 정보 부족	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	⓪	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	경제성 근거 부족
신뢰성 정보 부족	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	⓪	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	경제성 근거 부족

기술적 측면 장애요인(하위 고려요인 3개 : 3 문항)

○ 다음 설문은 상위 고려요인 중의 하나인 기술적 측면 장애요인의 하위 고려요인들 간의 상대적 중요도를 평가하기 위한 것입니다.

☞ 기술적 측면의 장애요인이란 기기 및 기술과 관련된 에너지 효율투자를 가로 막는 장애요인을 의미하며, 이에 영향을 미치는 요인으로는 ① **효율향상 적합 설비 및 기술 수단의 부족**, ② **신규 기기 및 설치 설비 시 발생할 수 있는 생산 · 가동중단 등 위험성**, ③ **에너지 절감효과 미비가** 있습니다.

대항목	소항목	설명
기술적 측면	기술수단 부족	① 사업장 또는 건물에 적합한 효율향상 설비 및 기술 수단의 부족
	생산의 위험성	② 신규 기기 및 설치 설비 시 발생할 수 있는 생산 · 가동중단 등 위험성
	절감효과 미비	③ 에너지 효율투자로 발생하는 투자대비 절감효과 미비

○ 다음 기술적 측면의 장애요인 중, 4차 산업기술을 활용한 에너지효율 투자를 저해하는 장애요인 중 기술수단 부족, 생산의 위험성, 절감효과 미비를 순서대로 1위부터 3위까지 순위를 응답해 주십시오.

요 인	순 위
기술수단 부족	(______ 위)
생산의 위험성	(______ 위)
절감효과 미비	(______ 위)

○ 다음은 앞서 제시한 3개 요인을 2개씩 묶어 상대 중요도를 평가하는 질문입니다. 어느 요인이 다른 요인 대비 어느 정도 중요한지 앞서 평가하신 순위 응답을 바탕으로 각각 응답해 주십시오.

평가항목	◀ 중요								같음	중요 ▶								평가항목
	절대 중요		매우 중요		중요		약간 중요			약간 중요		중요		매우 중요		절대 중요		
기술수단 부족	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	⓪	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	생산의 위험성
기술수단 부족	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	⓪	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	절감효과 미비
생산의 위험성	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	⓪	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	절감효과 미비

경제적 측면의 장애요인(하위 고려요인 3개 : 3 문항)

○ 다음 설문은 상위 고려요인 중의 하나인 경제적 측면 장애요인의 하위 고려요인들 간의 상대적 중요도를 평가하기 위한 것입니다.

☞ 경제적 측면의 장애요인이란 에너지 효율투자를 가로 막는 재무적인 장애요인을 의미하며, 이에 영향을 미치는 요인으로는 ① **높은 초기투자 비용**, ② **자금조달 등 재원마련의 어려움**, ③ **투자비 회수의 장기화**가 있습니다.

대항목	소항목	설명
경제적 측면	높은 초기투자비용	① 높은 초기투자비용 발생으로 인한 부담
	자금조달의 어려움	② 투자자금 조달 등 재원마련의 어려움 (대출지원 등 자금에 대한 접근성)
	투자비회수 장기화	③ 투자대비 에너지 절감효과 미비로 인하여 발생하는 투자비 회수의 장기화

○ 다음 경제적 측면의 장애요인 중, 4차 산업기술을 활용한 에너지효율 투자를 저해하는 장애요인 중 높은 초기투자비용, 자금조달의 어려움, 투자비회수 장기화를 순서대로 1위부터 3위까지 순위를 응답해 주십시오.

요 인	순 위
높은 초기투자비용	(______ 위)
자금조달의 어려움	(______ 위)
투자비회수 장기화	(______ 위)

○ 다음은 앞서 제시한 3개 요인을 2개씩 묶어 상대 중요도를 평가하는 질문입니다. 어느 요인이 다른 요인 대비 어느 정도 중요한지 앞서 평가하신 순위 응답을 바탕으로 각각 응답해 주십시오.

평가항목	◀ 중요								같음	중요 ▶								평가항목
	절대 중요		매우 중요		중요		약간 중요			약간 중요		중요		매우 중요		절대 중요		
높은 초기투자비용	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	⓪	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	자금조달의 어려움
높은 초기투자비용	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	⓪	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	투자비회수 장기화
자금조달의 어려움	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	⓪	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	투자비회수 장기화

정책적 측면의 장애요인(하위 고려요인 3개 : 3 문항)

○ 다음 설문은 상위 고려요인 중의 하나인 경제적 측면 장애요인의 하위 고려요인들 간의 상대적 중요도를 평가하기 위한 것입니다.

☛ 정책적 측면의 장애요인이란 정부 정책과 관련된 에너지 효율투자 활성화를 가로 막는 장애요인을 의미하며, 이에 영향을 미치는 요인으로는 **① 보조금·융자지원 등 지원책 부족, ② 절차의 복잡성 및 제한적인 접근성, ③ 기초인프라 지원 부족**이 있습니다.

대항목	소항목	설명
정책적 측면	지원책 부족	① 보조금·융자지원 등 지원책 부족 (효율향상 투자 유인 및 규제 부족 등의 투자환경)
	복잡성 및 접근성	② 절차의 복잡성 및 제한적인 접근성
	기초인프라 부족	③ 기술개발(R&D), 전문인력 양성 교육 등의 기초인프라 지원 부족

○ 다음 정책적 측면의 장애요인 중, 4차 산업기술을 활용한 에너지효율 투자를 저해하는 장애요인 중 지원책 부족, 복잡성 및 접근성, 기초인프라 부족을 순서대로 1위부터 3위까지 순위를 응답해 주십시오.

요 인	순 위
지원책 부족	(______ 위)
복잡성 및 접근성	(______ 위)
기초인프라 부족	(______ 위)

○ 다음은 앞서 제시한 3개 요인을 2개씩 묶어 상대 중요도를 평가하는 질문입니다. 어느 요인이 다른 요인 대비 어느 정도 중요한지 앞서 평가하신 순위 응답을 바탕으로 각각 응답해 주십시오.

평가항목	◀ 중요 절대중요		매우중요		중요		약간중요		같음	약간중요		중요		매우중요		절대중요 중요 ▶		평가항목
지원책 부족	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	⓪	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	복잡성 및 접근성
지원책 부족	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	⓪	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	기초인프라 부족
복잡성 및 접근성	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	⓪	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	기초인프라 부족

기업 내부적 측면의 장애요인(하위 고려요인 3개 : 3문항)

○ 다음 설문은 상위 고려요인 중의 하나인 경제적 측면 장애요인의 하위 고려요인들 간의 상대적 중요도를 평가하기 위한 것입니다.

☞ 경제적 측면의 장애요인이란 에너지 효율투자를 가로 막는 재무적인 장애요인을 의미하며, 이에 영향을 미치는 요인으로는 **① 낮은 우선순위, ② 경영진 및 임원진의 관심부족, ③ 사내 전문가 부족**이 있습니다.

대항목	소항목	설명
기업 내부적 측면	낮은 우선순위	① 효율향상 투자 및 개선의 낮은 우선순위
	경영진 및 임원진의 관심부족	② 최고경영자 또는 임원진의 에너지효율 투자에 대한 관심 부족
	사내 전문가 부족	③ 담당 인력 및 전문가 부족

○ 다음 기업 내부적 측면의 장애요인 중, 4차 산업기술을 활용한 에너지효율 투자를 저해하는 장애요인 중 낮은 우선순위, 경영진 및 임원진의 관심 부족, 사내 전문가 부족을 순서대로 1위부터 3위까지 순위를 응답해 주십시오.

요 인	순 위
낮은 우선순위	(______ 위)
경영진 및 임원진의 관심부족	(______ 위)
사내 전문가 부족	(______ 위)

○ 다음은 앞서 제시한 3개 요인을 2개씩 묶어 상대 중요도를 평가하는 질문입니다. 어느 요인이 다른 요인 대비 어느 정도 중요한지 앞서 평가하신 순위 응답을 바탕으로 각각 응답해 주십시오.

평가항목	◀ 중요								같음	중요 ▶								평가항목
	절대 중요		매우 중요		중요		약간 중요			약간 중요		중요		매우 중요		절대 중요		
낮은 우선순위	⑨	⑦	⑥	⑤	④	⑤	②	①	⓪	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑨	경영진 및 임원진의 관심부족
낮은 우선순위	⑨	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	⓪	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑨	사내 전문가 부족
경영진 및 임원진의 관심부족	⑨	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	⓪	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑨	사내 전문가 부족

설문에 응답해주셔서 감사합니다.

이 성 인
現 에너지경제연구원 연구위원

<주요저서 및 논문>

『4차 산업혁명 시대 대응 중장기 에너지효율관리 발전방안 연구(2/3)』, 에너지경제연구원 기본연구사업 2019(공저)

박 지 용
現 에너지경제연구원 부연구위원

<주요저서 및 논문>

『저소득층 에너지 효율사업 개선방안에 대한 연구』, 에너지경제연구원 수시연구사업, 2020 (공저)

박 상 규
現 에너지경제연구원 부연구위원

<주요저서 및 논문>

『데이터 3법 시행에 따른 에너지 데이터 활용 강화 방안 연구』, 에너지경제연구원 수시연구사업, 2020

기본연구보고서 2020-24

4차 산업혁명 시대 대응 중장기 에너지효율관리 발전방안 연구(3/3)

2020년 12월 30일 인쇄
2020년 12월 31일 발행

저 자 이 성 인·박 지 용·박 상 규
발행인 조 용 성
발행처 에너지경제연구원
44543 울산광역시 종가로 405-11
전화: (052)714-2114(代) 팩시밀리: (052)-714-2028
등 록 제 369-2016-000001호(2016년 1월 22일)
인 쇄 (사)한국척수장애인협회 디지털인쇄사업소
ⓒ에너지경제연구원 2020
ISBN 978-89-5504-800-1 93320

* 파본은 교환해 드립니다. 값 7,000원

본 연구에 포함된 정책 대안 등 주요 내용은 에너지경제연구원의 공식적인 의견이 아닌 연구진의 개인 견해임을 밝혀 둡니다.



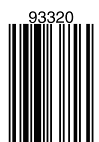


에너지경제연구원

(44543) 울산광역시 중구 종가로 405-11(성안동, 에너지경제연구원)
전화 : 052)714-2114 팩스 : 052)714-2028 www.keei.re.kr

값 7,000원





ISBN 978-89-5504-800-1